



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

AUTOMATIZACE VÝROBY STATORŮ ELEKTROMOTORŮ

AUTOMATION OF STATORS PRODUCTION

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Martin Šula

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Aleš Pochylý

BRNO 2020

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student: **Bc. Martin Šula**
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Výrobní stroje, systémy a roboty
Vedoucí práce: **Ing. Aleš Pochylý**
Akademický rok: 2019/20

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Automatizace výroby statorů elektromotorů

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce je zaměřena na návrh pracoviště s průmyslovými roboty pro finální opracování odlitků statorů elektromotorů. Práce se zabývá sestavením simulační studie robotické výrobní linky v SW Siemens Process Simulate: výběr hlavních komponent a jejich umístění – návrh layoutu pracoviště, návrh koncových efektorů/upínacích přípravků, řešení bezpečnosti obsluhy. V rámci návrhu pracoviště bude využit SW Siemens Process Simulate pro detailní simulaci výroby a ověření funkčnosti navrženého řešení ve virtuálním prostředí.

Cíle diplomové práce:

Systémový rozbor zadané problematiky.
Návrh koncepce automatizace pracoviště pro zadaný typ aplikace.
Návrh dílčích systémů (koncové efekторы, přípravky, oplocení apod.).
Integrace dílčích systémů pracoviště, resp. vytvoření modelu pracovní buňky včetně řešení bezpečnosti/ochrany obsluhy.
Vytvoření simulačního modelu pracoviště v SW Siemens Process Simulate.
Technicko–ekonomické posouzení navrženého řešení.
Závěr a doporučení pro praxi.

Seznam doporučené literatury:

SICILIANO, B. KHATIB, O. Springer Handbook of Robotics. Springer-Verlag New York, Inc., 2008. 1611 s. ISBN 978-3-540-23957-4.

NOF, S. Y. Springer Handbook of Automation. Springer, 2009. 1812 s. ISBN 978-3-540-78830-0.

MONKMAN, G. J., HESSE, S., STEINMANN, R. SCHUNK, H. Robot Grippers. Wiley-VCH Verlag, 2007. 463 s. ISBN 978-3527406197.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá návrhem layoutu robotizovaného pracoviště na dokončovací operace na statoru elektromotoru. Byly vytvořeny tři varianty layoutu pracoviště, tyto varianty byly zhodnoceny, a následně byla vybrána nejvhodnější varianta. Pro tuto variantu byly vytvořeny vhodné dílčí komponenty, jako jsou například koncový efektor, odjehlovací vřetena, otočný stojan a frézovací stůl. Byla pro ni také vytvořena analýza rizik pro zajištění bezpečnosti a ochrany obsluhy. Nejvhodnější varianta byla přenesena do softwaru Process Simulate, kde byla ověřena jeho funkčnost a zjištěný reálný takt buňky.

ABSTRACT

The diploma thesis deals with the design of a robotic workplace layout for finishing operations on the stator of an electric motor. Three variants of the workplace layout were created, these variants were evaluated, and then the most suitable variant was selected. Suitable subcomponents have been created for this variant, such as the end effector, deburring spindles, rotary stand and milling table. A risk analysis was also created for her to ensure the safety and protection of the operator. The most suitable variant was transferred to the Process Simulate software, where its functionality was verified and the real cell cycle was determined.

KLÍČOVÁ SLOVA

Robotizované pracoviště, robot, stator elektromotoru, Process Simulate, Průmysl 4.0, Návrh layoutu

KEYWORDS

Robotic workplace, robot, electric motor stator, Process Simulate, industry 4.0, layout design

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ŠULA, Martin. *Automatizace výroby statorů elektromotorů* [online]. Brno, 2020 [cit. 2020-06-16]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/124505>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Aleš Pochylý.

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce, Ing. Aleši Pochylému za odbornou pomoc při zpracovávání diplomové práce. Dále bych rád poděkoval své rodině, která mě vždy podporovala po celou dobu studia.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Aleše Pochylého a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne:.....

.....

Bc. Šula Martin

OBSAH

1	ÚVOD	15
2	ZADANÁ PROBLEMATIKA.....	17
3	ROBOTY V PRŮMYSLU	19
3.1	Průmysl 4.0	19
3.2	Rozšířenost průmyslových robotů	19
3.3	Software pro tvorbu virtuálního pracoviště	22
4	PŘEHLED ROBOTŮ	23
4.1	Rozdělení robotů:.....	23
4.2	Rozdělení podle konstrukce.....	23
4.2.1	Portálové roboty	23
4.2.2	Scara roboty	24
4.2.3	Dvouramenné roboty	24
4.2.4	Šestiosé angulární roboty.....	25
4.2.5	Delta roboty	26
4.3	Rozdělení podle využití	26
4.3.1	Svařovací roboty	26
4.3.2	Lakovací roboty	27
4.3.3	Paletizační roboty	27
4.3.4	Kolaborativní roboty.....	28
4.4	Rozdělení podle velikosti.....	29
4.4.1	Malé roboty.....	29
4.4.2	Střední velikost robotů.....	29
4.4.3	Velké roboty	29
5	SYSTÉMOVÝ ROZBOR PRÁCE	31
5.1	Problémová situace	31
5.2	Formulace problému	31
5.3	Formulace cílů a řešení	31
5.4	Systém podstatných veličin	31
6	NÁVRH ROZLOŽENÍ ROBOTICKÉ BUŇKY	33
6.1	Varianta 1	34
6.2	Varianta 2.....	35
6.3	Varianta 3.....	36
6.4	Výběr vhodné varianty.....	37
6.4.1	Zdůvodnění výběru varianty.....	37
7	VÝBĚR KOMPONENT PRO ROBOTICKOU BUŇKU	39
7.1	Koncový efektor	39
7.1.1	Vstupní parametry	39
7.1.2	Výpočet úchopové síly	39
7.1.3	Koncový efektor	42
7.2	Robot.....	43
7.2.1	Kontrola nosnosti robotu (dle compose.kuka.com).....	45
7.3	Bin Picking	46
7.4	Robotická vřetena (odjehlovací vřetena)	46
7.5	Bezpečnostní prvky robotických buněk (bezpečnost robotické buňky)	47

7.5.1	Tlačítko nouzového zastavení	48
7.5.2	Bezpečnostní optické závory, závěsy a mříže	48
7.5.3	Oplocení	49
7.5.4	Bezpečnostní zámky	51
7.6	Vrata	52
8	BEZPEČNOST ROBOTICKÉ BUŇKY.....	53
8.1	Systémová analýza robotické buňky	53
8.2	Identifikace relativního nebezpečí.....	54
8.3	Analýza významných nebezpečí	55
8.4	Přehled identifikovaných závažných nebezpečí	56
8.5	Snížení rizik.....	57
8.6	Hodnocení celkové bezpečnosti výrobního stroje	59
9	KONSTRUKČNÍ NÁVRHY	61
9.1	Konstrukční návrh otočného stojanu	61
9.2	Konstrukční návrh frézovacího stůl.....	62
9.3	Kontrolní box.....	63
10	VYTVOŘENÍ SIMULAČNÍHO MODELU.....	65
10.1	Definování komponent	65
10.2	Vytvoření souřadnicových systémů	65
10.3	Rozmístění prvků v buňce	66
10.4	Definování kinematiky	66
10.5	Vytvoření operací	67
10.6	Vytvoření tras pro obrábění dílů.....	67
10.7	Vytvoření TCP.....	68
10.8	Path editor.....	69
10.9	Provázání operací v Sequence Editoru	69
10.10	Zrcadlení operací	70
11	SIMULAČNÍ ZHODNOCENÍ.....	71
12	TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	73
13	ZÁVĚR A DOPORUČENÍ PRO PRAXI	75
14	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	77
15	SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK.....	81
15.1	Seznam tabulek.....	81
15.2	Seznam obrázků.....	81
15.3	Seznam použitých zkratk a symbolů	83
16	SEZNAM PŘÍLOH.....	85

1 ÚVOD

V dnešní době se mnoho firem zaměřuje na celkovou automatizaci výrobních linek.

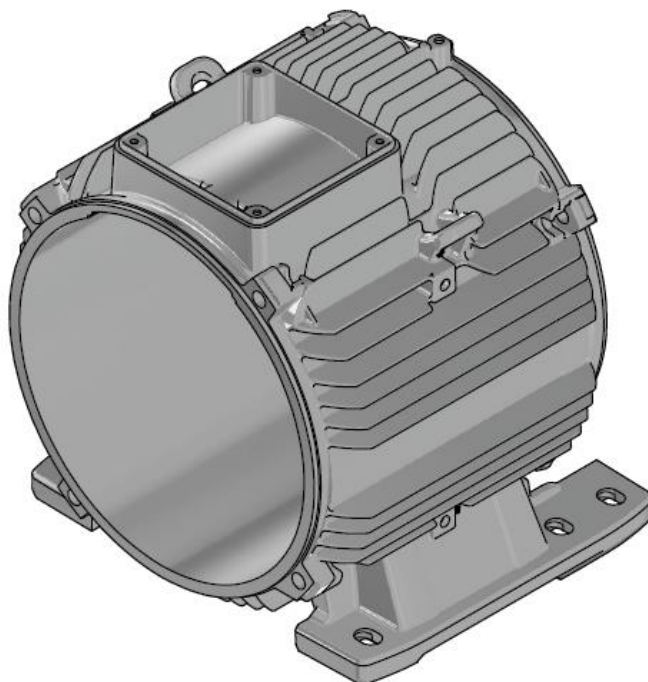
Instalace robotizovaných pracovišť nebo robotizovaných linek byla dříve realizována převážně velkými automobilkami, kde roboty začaly nahrazovat těžkou, ergonomicky náročnou, nebo monotónní práci. Během posledních let se ale robotizace začala rozšiřovat i do dalších odvětví např.: v elektroprůmyslu roboty našly své využití při výrobě elektromotorů, ve farmacii, kde roboty nahrazují laboranty při práci s odebranými vzorky a při jejich následném vyhodnocování, v potravinářství, kde roboty nahrazují lidskou činnost při balení bonbónů, nebo v pekárně při manipulaci s vysokým počtem pečiva. V dnešní době i malé podniky začínají zvažovat montáž robotů do svých provozů. Hlavním důvodem, proč i malé firmy zvažují využití robotů, je snaha udržet si konkurenční schopnost mezi velkými korporacemi, snaha zvyšovat kvalitu svých výrobků a v neposlední řadě se mohou potýkat s problémem, že na danou pozici nejsou schopni zajistit kvalifikovaný personál na dvou, nebo tři směnný provoz. Dalším důvodem, proč firmy instalují roboty do svých provozů, může být i činnost, která je pro člověka nebezpečná, nebo není v jeho možnostech realizovatelná, například svařování laserem v dostatečné kvalitě.

Instalace robotů do firem přináší mnoho výhod jak pro firmu, tak i pro zaměstnance. Roboty přinášejí zaměstnancům ulehčení jejich fyzicky a ergonomicky náročné práce, která může při delším vykonávání způsobovat bolesti zad, nebo jiné zdravotní komplikace. Firmám nasazení robotů do výroby přináší zvýšení kvality výrobků, celkové snížení zmetkovitosti vyrobených dílů a tím snížení nákladů na výrobu, roboty zvyšují celkovou produktivitu výroby. Ale i v dnešní době celkově lidskou práci nelze nahradit, proto výrobci robotů přicházejí s řešením, které zahrnuje spolupráci člověka s roboty, tzv. kolaborativní roboty. Nejznámějším kolaborativním robotem je robot YuMi od firmy ABB, který přímo ve firmě ABB nachází uplatnění při montáži zásuvek, kde manipuluje s malými součástmi.

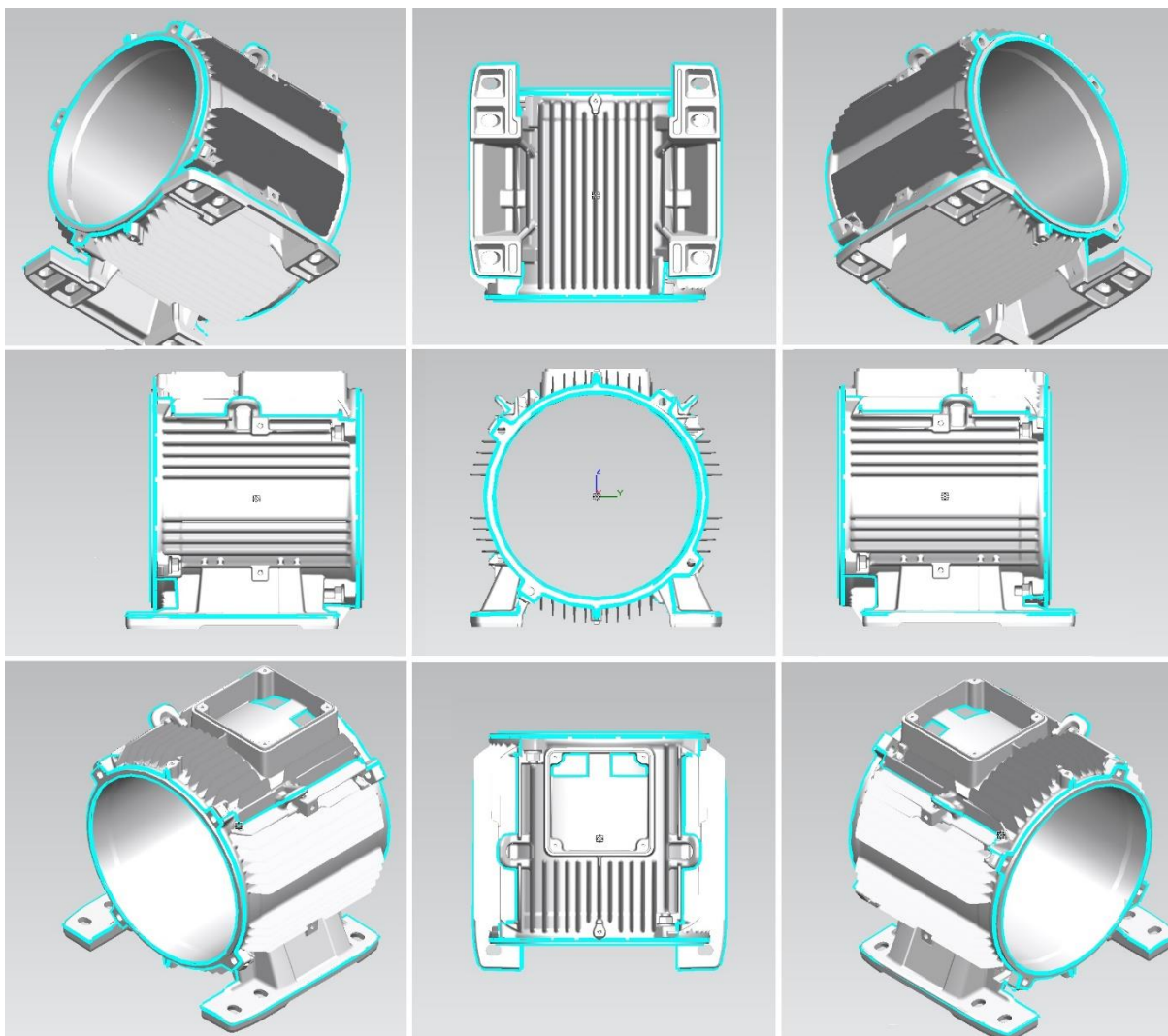
2 ZADANÁ PROBLEMATIKA

Cílem této diplomové práce je vytvořit návrh konceptu robotizovaného pracoviště pro finální opracování hliníkových odlitků statorů elektromotorů. Tento návrh robotizovaného pracoviště poté přenést do prostředí SW Siemens Process Simulate, kde vytvořit simulační studii robotické výrobní linky. Dále zrealizovat detailní simulaci a ověřit funkčnost pracoviště ve virtuálním prostředí. Zadaná doba na opracování jednoho kusu statoru je 1,5 až 1,9 minuty.

Finální operace probíhají na hliníkovém odlitku statoru elektromotoru, na kterém při odlévání vznikají nálitky a ostré hrany v místech, kde se spojují jednotlivé části jeho formy. Tyto nálitky a nebezpečné hrany je nezbytné odstranit pro bezpečnost zákazníka, ale také pro bezpečnost dělníků, kteří s tímto dílem dále manipulují.



Obr. 1) Model statoru elektromotoru



Obr. 2) Znárodnění hran pro opracování

Hliníkový stator je zapotřebí opracovat z obou čel, z vnitřní a vnější strany. Dále je zapotřebí, aby nálitky byly odstraněny i po bocích. Nálitky po dělicí rovině se nachází v oblasti ok pro zavěšení na jeřáb. Další dvě dělicí roviny se nachází na patkách statoru. Tyto dvě roviny jsou velmi členité, proto při simulaci musí být zvýšena pozornost na kolizi s vřetenem. Poslední místo k opracování je ve svorkovnici, kde se nachází dva otvory pro vývod vodičů ze statorového vinutí.

3 ROBOTY V PRŮMYSLU

3.1 Průmysl 4.0

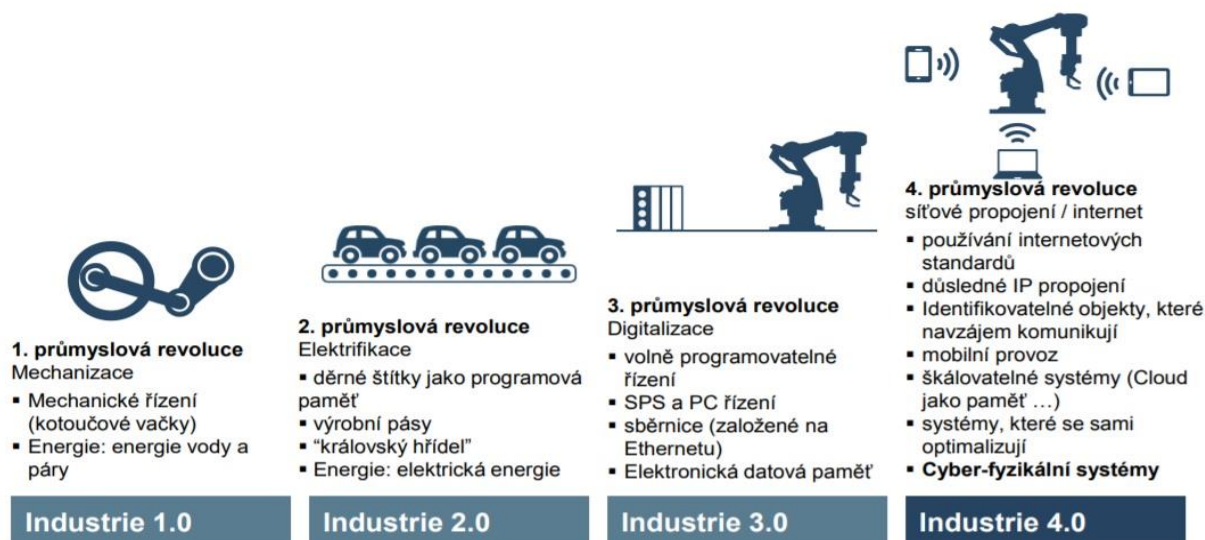
Průmysl 4.0 je v současné době hodně skloňované slovo, ve kterém je mnoho očekávání, ale také obav. Pro správné pochopení průmyslové revoluce je důležité se podívat dále do historie.

První průmyslová revoluce přišla již na konci 18. století vynálezem parního stroje a jeho zavedením do výroby. Díky tomuto vynálezu se začalo přecházet z manuální manufakturní výroby na strojní velkovýrobu. [9]

Druhá průmyslová revoluce se datuje ke konci 19. století s nástupem T. A. Edisona díky elektrifikaci a s příchodem Henryho Forda, který jako první do svých firem zavedl pásovou výrobu a tím značně zvýšil produkci. [9]

Třetí průmyslová revoluce nastává na počátku 70. let, kdy byl vyroben první programovatelný automat. Tato revoluce přináší průmyslovou automatizaci a robotizaci výroby. [9]

Poslední, čtvrtá průmyslová revoluce, byla představena na veletrhu v Hannoveru v roce 2013 jako Průmysl 4.0. Cílem Průmyslu 4.0 je snaha vytvořit tzv. chytrou továrnu. Význam chytré továrny spočívá v celkovém propojení a navázání vzájemné komunikace všech částí továrny (lidí, strojů, objektů a systémů) mezi sebou. Bohužel, některé prvky nejsou samy o sobě schopny komunikovat, proto všechny tyto prvky jsou připojeny na internet, kde mají svoje virtuální dvojče, které je zastupuje. Ve virtuálním prostoru poté tyto prvky společně řeší úlohy, koordinují svoji činnost a rozhodují o využití služeb, které si navzájem poskytují. [8]



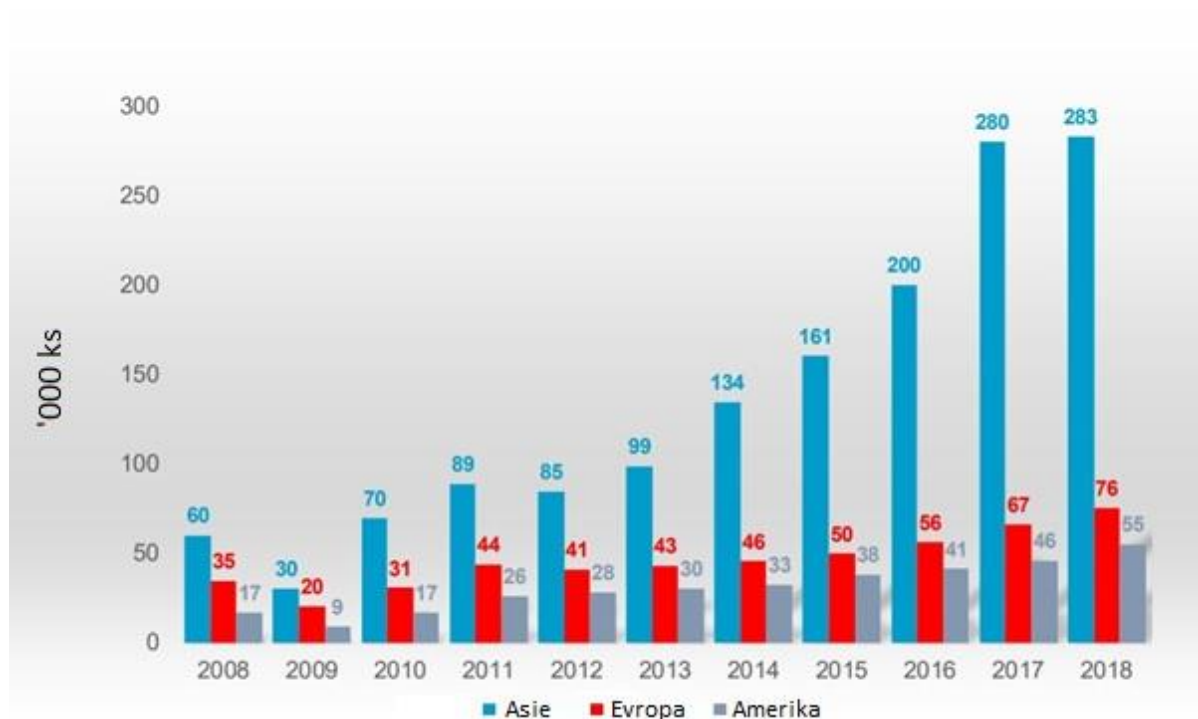
Obr. 3) Průmyslová revoluce [10]

3.2 Rozšířenost průmyslových robotů

Podle mezinárodní federace robotiky (IFR) bylo pro rok 2018 instalováno 2 439 543 kusů robotů po celém světě. Zavádění průmyslových robotů zažívá v poslední době celosvětový nárůst, a to až 400 000 kusů robotů za rok. [11] Největšími světovými průkopníky v robotizaci jsou státy jako Čína, Japonsko, Spojené státy Americké, Jižní Korea a Německo. Tyto státy

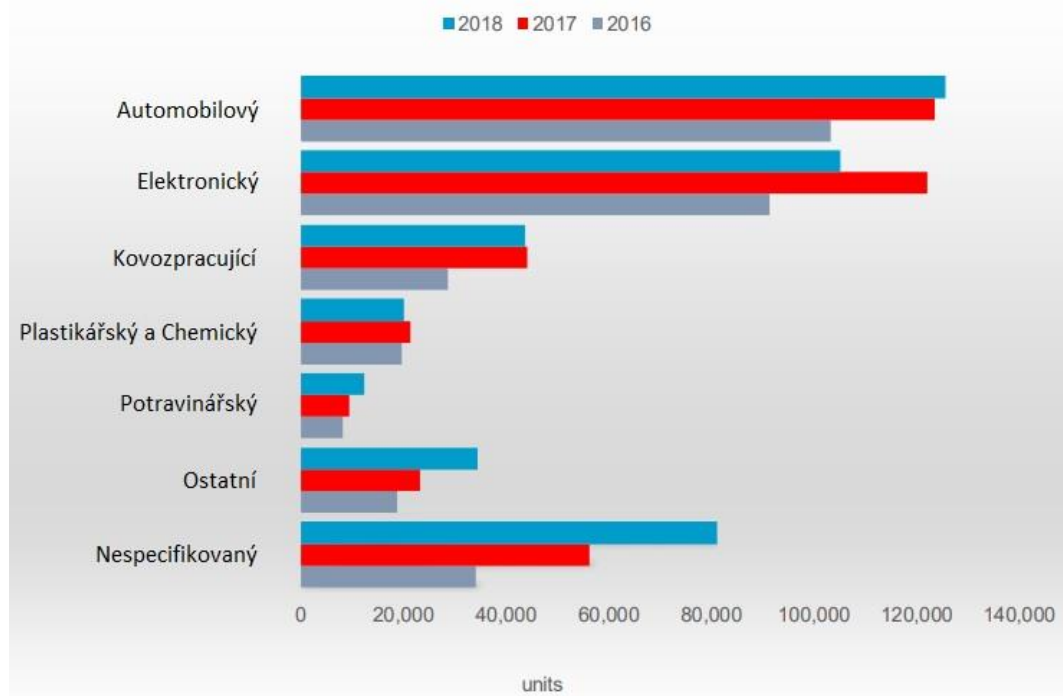
nejvíce instalují roboty do svých podniků. Hlavním průmyslovým odvětvím, do kterého se roboty instalují byl vždy automobilový průmysl. Momentálně se však roboty začaly instalovat i do ostatních průmyslových odvětví, jako jsou elektronický průmysl, kovozpracující průmysl, chemický průmysl a potravinářský průmysl. Do majoritního automobilového průmyslu bylo za rok 2018 instalováno 30% robotů, elektrický a elektronický průmysl zabírá 25%, kovozpracující průmysl 10%, do výroby plastů a do chemického průmyslu je namontováno 5%. Potravinářský průmysl zahrnuje 3% celkového počtu instalovaných robotů. U zbylých 19% není jasné, jak jsou využívány. [11]

Na obrázku 3 vidíme roční přírůstek robotů v jednotlivých kontinentech od roku 2008 do roku 2018, kde na svislé ose je znázorněn počet v tisících kusech a na vodorovné ose jsou uvedeny jednotlivé roky.



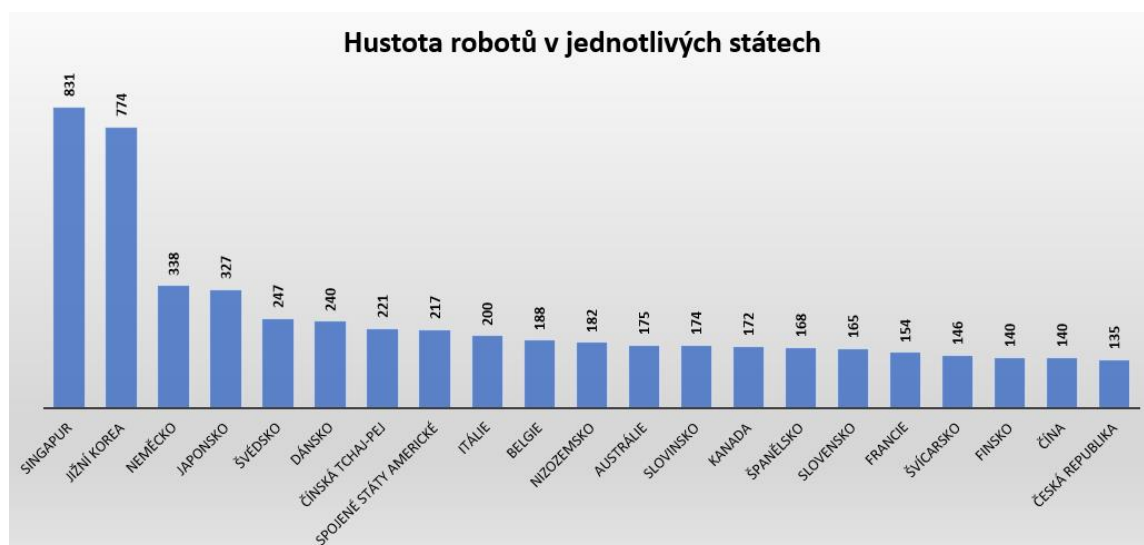
Obr. 4) Roční přírůstek robotů [12]

Roční přírůstek robotů do jednotlivých průmyslových odvětví pro rok 2018 lze vidět viz (Obr. 4). Na tomto obrázku lze také vidět srovnání s roky 2017 a 2016. Jak je uvedeno na obrázku, automobilový průmysl stále zvyšuje počty instalovaných robotů do svých závodů. Avšak elektronický průmysl dosahoval v roce 2017 srovnatelných hodnot.



Obr. 5) Roční přírůstek robotů v jednotlivých průmyslových odvětví [12]

Další důležitou informací na přestavení míry robotizace ve společnosti je hustota robotů. Hustota robotů udává počet robotů na 10 000 zaměstnanců. Stát s nejvyšší hustotou robotů je Singapur, druhá Jižní Korea a na třetím místě se umístilo Německo. Avšak Čína, která je největším odběratelem robotů na světě se umístila až na 20. místě těsně před Českou republikou.



Obr. 6) Hustota robotů v jednotlivých státech [12]

3.3 Software pro tvorbu virtuálního pracoviště

Při programování robotů lze využít dvou přístupů. Prvním je On-line programování robotů, které spočívá v přímém napojení programátora na robot. Po připojení má programátor plnou kontrolu nad daným robotem. V této fázi lze robot přes speciální SW zároveň programovat a ladit v závislosti na reálném prostředí.

Takovéto programování je zdlouhavé a zvyšuje dobu prostojů robotů a strojů. Dále při nepozornosti, nebo nezkušenosti programátora, může docházet ke kolizím robotu s kooperujícím strojem, anebo s předměty v jeho okolí. Proto se začalo využívat Off-line programování, které spočívá ve vytváření programu bez nutnosti fyzického napojení na daný robot. A tím snížit dobu prostoje stroje. Off-line programování lze provádět bez nutnosti speciálního SW. Toto programování lze uskutečňovat i v jakémkoliv textovém editoru a poté pouze nahrát do zařízení. Ale psaní čistého programu v textovém editoru nenabízí programátorovi žádné podpůrné funkce, proto byly pro Off-line programování vyvinuty softwary, které ulehčují práci programátorům.

Tyto programy umožňují vytvořit reálný 3D model robotického pracoviště a odsimulovat jednotlivé pohyby, navrhout PLC, řízení a následně celou buňku ladit.

Hlavní výhodou těchto programů je možnost odsimulovat a odladit chyby v jednotlivých operacích před nahráním do reálného robotu. Tímto lze efektivně snížit prostoje linky. Další neméně významnou výhodou těchto programů je zahrnutí doby odezvy signálů a dynamiky pohybů, které dávají reálný pohled na časovou náročnost procesů, díky čemuž jsme schopni s určitou přesností předpovědět takt reálného pracoviště. Pomocí této schopnosti můžeme optimalizovat výrobní časy a tím zvyšovat produktivitu. Dalšími výhodami při návrhu robotického pracoviště je: možnost testování různých variant konstrukčních řešení, čímž neriskujeme zničení hardwaru z důvodu absence testování na reálném zařízení, ověření správnosti návrhu senzorů, testování bezpečnostních prvků, úspora času na inženýring. Výstupem jsou připravené programy, layout a řešení, které stačí překlopit do reálné buňky [13] [14]

Mezi jedny z nejznámějších programů patří Robot studio od firmy ABB, Delmia V5 Robotics, nebo Tecnomatix Process Simulate od firmy Siemens.

Pro navržení a odsimulování robotické buňky byl dle zadání vybrán program Siemens Process Simulate.

4 PŘEHLED ROBOTŮ

4.1 Rozdělení robotů:

Podle konstrukce: Portálové roboty
 Scara roboty
 Kloubové roboty
 Dvouramenné roboty
 Šestiosé angulární roboty
 Delta roboty

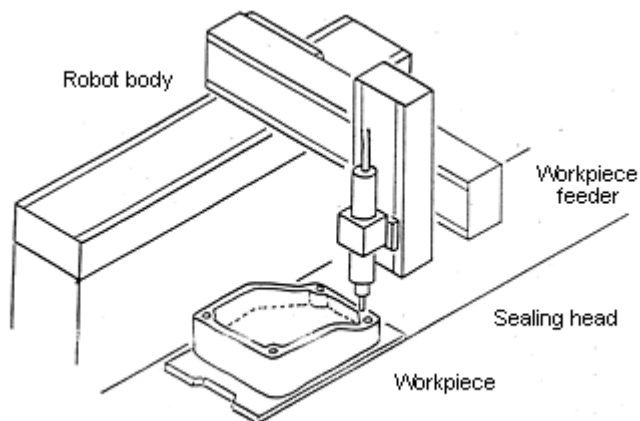
Podle využití: Svařovací roboty
 Lakovací roboty
 Paletizační roboty
 Kolaborativní

Podle velikosti: Malé roboty
 Střední roboty
 Velké roboty

4.2 Rozdělení podle konstrukce

4.2.1 Portálové roboty

Portálové, nebo také karteziánské roboty, mají pracovní prostor ve tvaru kvádrů. Jejich pohyb je realizován pomocí lineárních pohonů, které jsou vůči sobě kolmé (rozmístění podle kartézského systému x , y , z). Tyto roboty najdou své hlavní využití v přepravě materiálu, paletizaci součástek, nebo na plošné operace.



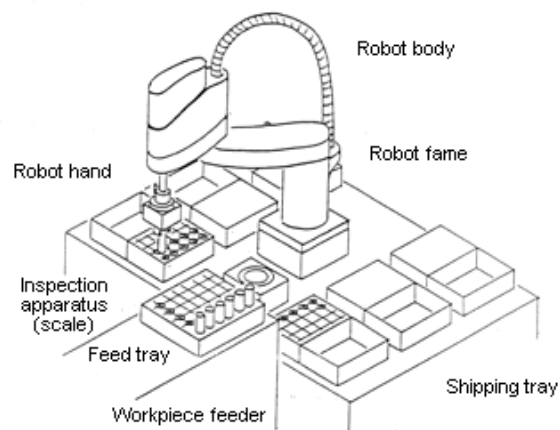
Obr. 7) Portálový robot [16]

4.2.2 Scara roboty

Pohyb Scara robotů je realizován dvěma rotačními stupni volnosti a jedním translačním stupněm volnosti. Z toho důvodu robot ztrácí možnosti naklápění oproti šestiosým robotům. Tento typ robotu ale nachází své uplatnění díky své vysoké rychlosti, kdy je využíván hlavně pro třídící a rovnací operace. Další výhodou tohoto robotu je vysoká přesnost opakování. Pro pohyb jsou využívány tři motory, čímž se značně snižuje chyba polohování. Pracovní prostor Scara robotu je válcovitý, jehož poloměr je dán délkou součtu ramen. Výška válce je dána zdvihem poslední osy Z.



Obr. 8) Fanuc - Scara Robot SR-3iA [17]



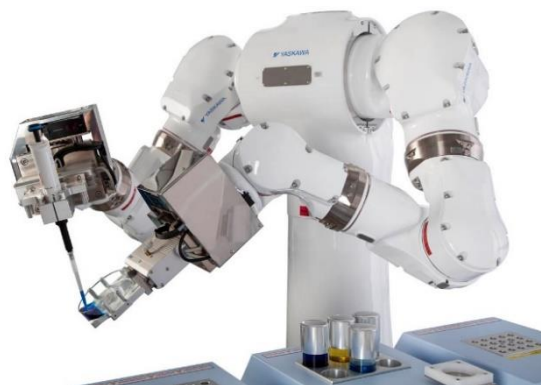
Obr. 9) Scara robot [18]

4.2.3 Dvouramenné roboty

Roboty jsou specifické dvěma rameny, která mohou pracovat nezávisle na sobě a spolupracovat při jednotlivých operacích. Tyto roboty nachází využití v laboratořích, kde je jejich práce přesnější než práce laborantů. Další výhodou je, že roboty mohou pracovat i s nebezpečnými látkami. Jejich vzhled představuje trup lidské bytosti, proto se tyto roboty používají ve spolupráci s člověkem, kde navozují přátelštější prostředí než jiný typ robotů. Nejznámějšími představiteli dvouramenných robotů je robot Motoman CSD od firmy Yaskawa, nebo od firmy ABB robot YuMi. [19]



Obr. 10) ABB - IRB 14000 YuMi [21]



Obr. 11) Yaskawa - MOTOMAN CSDA10F [20]

4.2.4 Šestiosé angulární roboty

Šestiosé roboty jsou jedním z nejvyužívanějších typů robotů. Jejich konstrukce se podobá lidské ruce, která byla konstruktérům těchto robotů předlohou. Konstrukce robotu je tvořena šesti rotačními stupni volnosti, které mu umožňují velkou svobodu pohybu. Šestiosé roboty se vyrábí ve velké škále délek ramen a nosností (od 1 kg až přes 1 tunu), proto jejich využití je zcela univerzální. Od průmyslového využití, kde zastupují širokou škálu činností od jednoduchých a lehkých operací jako je přemísťování drobných dílů, přes středně složité operace jako je svařování, nanášení lepidla, lakování nebo frézování, až po ty nejtěžší a nejnáročnější operace, jako je práce ve slévárně, nebo práce s karosériemi v automobilovém průmyslu.



Obr. 12) Kuka - KR 1000 titan [22]

4.2.5 Delta roboty

Delta roboty jsou roboty s paralelní kinematikou. Jejich typickým znakem jsou tři ramena, která jsou na jedné straně připojena k sobě a na straně druhé jsou pomocí motorů připojena k základně robotu. Velikou výhodou tohoto rozložení je umístění motorů na základně, které manipulují pouze s hmotností ramene, koncového efektoru a přenášeného objektu. Oproti ostatním robotům jejichž motory jsou naskládány v sérii, motor, který je první, musí být dostatečně naddimenzovaný, aby zvládl pohybovat s celým robotem.

Delta roboty dosahují vysoké přesnosti rychlosti až 300 operací za minutu. Proto jsou speciálně vyvinuty pro překládání drobných předmětů, další využití najdou i v měření, pájení a montáži dílů. [23]



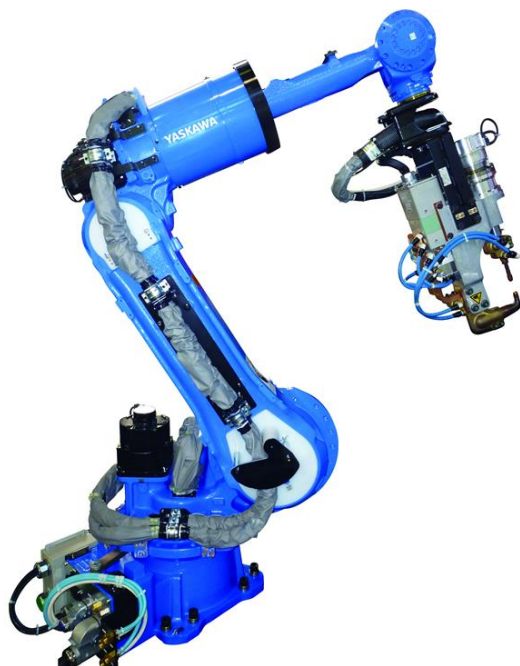
Obr. 13) ABB - IRB 360 [24]

4.3 Rozdělení podle využití

4.3.1 Svařovací roboty

Existují dvě možnosti konstrukčních provedení, buď využít klasický konvenční šestiosý průmyslový robot, na který se připevní požadovaný svařovací nástroj (svařovací hlavici nebo svařovací kleště), nebo je možné vybrat roboty, které jsou zkonstruovány přímo na svařovací operace. Roboty určené na svařovací operace mívají užší a delší ramena, aby byly schopny se dostat i do hůře přístupných částí svařovaného dílu. Také tyto roboty bývají vyráběny s dutou hřídelí pro vedení energií a materiálu.

Svařovací roboty jsou schopny provádět všechny svařovací operace: svařování elektrickým obloukem, svařování plynem, ultrazvukové svařování, laserové svařování, odporové svařování řezání a svařování plazmou, nebo pájení. Využitím robotů místo lidí při svařování je zajistit bezpečnost pracovníků, protože při svařování vznikají škodlivé zplodiny a nebezpečné záření. Navíc některé svařovací operace je nutno provozovat ve vysoké a neměnné kvalitě na velké sérii dílů, což by bylo pro svářeče obtížně dosažitelné.



Obr. 14) Yaskawa – MS80W II. Osazena svařovacími kleštěmi [27]



Obr. 15) Fanuc – ARC Mate 100 iC/7L Osazen svařovací hlavicí [26]

4.3.2 Lakovací roboty

Na lakovací roboty je kladen požadavek na přesnost, rychlost a bezpečnost. Lakovny se považují za rizikové pracoviště, protože zde díky chemickému složení barev a laků hrozí nebezpečí požáru, nebo výbuchu. Z tohoto důvodu musí být robot chráněn před elektrostatickými výboji a vzniku jisker při kolizi. Těla lakovacích robotů proto bývají vyrobená ze slitin hliníku. Dále mají ochranu IP67 tj. ochrana proti stříkající vodě. Konstrukční prvek, který lakovací roboty sdílejí se svařovacími, je duté rameno, kterým je přiváděna energie a materiál. Některé lakovací roboty nabízejí možnost různé možnosti montáže na podlahu, zeď, nebo na strop, což značně rozšiřuje využití pracovního prostoru. [28]

4.3.3 Paletizační roboty

Paletizační operace jsou schopny vykonávat různé druhy robotů, například delta, scara nebo klasické šestiosé roboty. Roboty, určené pouze na paletovací operace se ve své konstrukci liší počtem řízených os a vyšší jmenovitou nosností. Paletovací roboty oproti klasickým šestiosým robotům nepotřebují řízenou rotaci os A4 a A5, řízená osa A5 je nahrazena mechanismem, který udržuje koncový efektor stále ve vodorovné pozici. Díky tomuto mechanismu je schopen zatížit zápěstí většími klopnými momenty.



Obr. 16) Kuka - KR 700 PA [29]



Obr. 17) ABB - IRB 760 [30]

4.3.4 Kolaborativní roboty

Tyto roboty jsou uzpůsobené pro práci s člověkem. Je u nich značně snižena maximální rychlost pohybu, snižena nosnost, jsou u nich změkčená serva, aby při střetu s člověkem nezpůsobily zranění. V případě střetu servomotor robotu překročí maximální dovolenou hodnotu momentu a zastaví se, což je jejich hlavní výhodou oproti klasickým průmyslovým robotům, kde musí být zajištěna bezpečnost obsluhy zabráněním vstupu do pracovního prostoru robotu. Povrchy kolaborativních robotů neobsahují ostré hrany, a navíc někteří kolaborativní roboti mívají navíc změkčené povrchy viz (**Obr. 17**) robot CR-35iA je obložen pryžovým obložením [31]. Dále kolaborativní roboty nesmějí pracovat s ostrými, horkými, nebo jinak pro člověka nebezpečnými materiály.



Obr. 18) Fanuc - CR-35iA [31]

4.4 Rozdělení podle velikosti

4.4.1 Malé roboty

Mezi malé roboty lze zařadit roboty s nosností od 0,5 kg do cca 15 kg. Např. ABB YuMI IRB 14000 nachází uplatnění při montáži drobných a křehkých dílů. Výhodou je jejich malá zástavbová plocha. [21]

4.4.2 Střední velikost robotů

Do střední velikosti robotů patří např. KUKA KR 16 R2010 nosností 16 kg. Tyto roboty najdou zejména své uplatnění ve spolupráci s obráběcím centrem, lisem nebo jiným výrobním strojem. Další uplatnění najdou i při lakování, svařování, nanášení lepidel, ale lze je také využít při montáži dílů. Nosnost robotů střední velikosti je od 15 kg cca do 150 kg. [32]

4.4.3 Velké roboty

Velké roboty např. ABB IRB 4600 jsou předem určené k manipulaci s velkými a těžkými předměty, nebo jako paletizační roboty. Nosnost velkých robotů 200 kg a více kg. [33]

5 SYSTÉMOVÝ ROZBOR PRÁCE

5.1 Problémová situace

Většina výrobců se snaží na trh dodávat co nejvíce kvalitního zboží za co nejnížší cenu a tím získat výsadní postavení na trhu. Zvýšení kvality a rychlosti je dosaženo roboty, které mají vysokou opakovatelnou přesnost, jakou lidská obsluha není schopna dosáhnout při stejném taktu a velikosti obrobků jako robot.

5.2 Formulace problému

Návrh robotizovaného pracoviště pro dokončovací operace na statorech elektromotoru. A jeho simulace v prostředí Process simulate.

5.3 Formulace cílů a řešení

Cílem diplomové práce je vytvořit komplexní přehled o robotech, které současný trh nabízí a rozdělit je dle společných kritérií. Dále bylo cílem vytvořit návrh koncepce automatizovaného pracoviště, který dále rozpracovat a vytvořit analýzu rizik a následně vytvořit opatření na jejich zamezení. Posledním cílem je vytvořit technicko-ekonomické posouzení navrženého řešení.

5.4 Systém podstatných veličin

Výpočet je zaměřen na minimální velikost úchopové síly koncového efektoru.

- **S0 – veličiny popisující okolí**

Na přenášený díl koncovým efektem působí zrychlení od pohybu robotu a gravitační zrychlení země, dále na stator působí jemné rázy od vřetena při odstraňování nálitků.

- **S1 – geometrie a topologie**

Tvar koncového efektoru byl zvolen tak, aby bylo možné stator elektromotoru chytit za vnitřní průměr, čímž je dosaženo stabilního uchopení a dobré dostupnosti k frézovaným plochám. Důraz je dále kladen i na celkovou hmotnost koncového efektoru.

- **S2 – vazby a interakce s okolím**

Koncový efektor je připevněn pomocí příruby k robotu a chapadla koncového efektoru upínají pomocí vytvořeného tlaku hliníkový stator elektromotoru.

- **S3 – aktivace s okolím**

Stator elektromotoru je lehce ovlivňován vibracemi při frézování, které mohou způsobit uvolnění upnutí. Upnutí bude mít zvýšenou přitlačnou sílu o bezpečnost 2.

- **S4 – ovlivňování s okolím**

Prázdná množina

- **S5 – vlastnosti struktury**

Styčné plochy koncového efektoru a stator elektromotoru jsou vyrobeny ze slitiny hliníku.

- **S6 – veličiny popisující procesy a stavy**

Velikost zrychlení robotu. Součinitel smykového tření, síla působící na vnitřní průměr statoru elektromotoru.

- **S7 – veličiny popisující projevy**

Pevnost uchycení statoru.

- **S8 – důsledky projevů**

Změna polohy statoru na koncovém efektoru, uvolnění statoru ze sevření koncového efektoru.

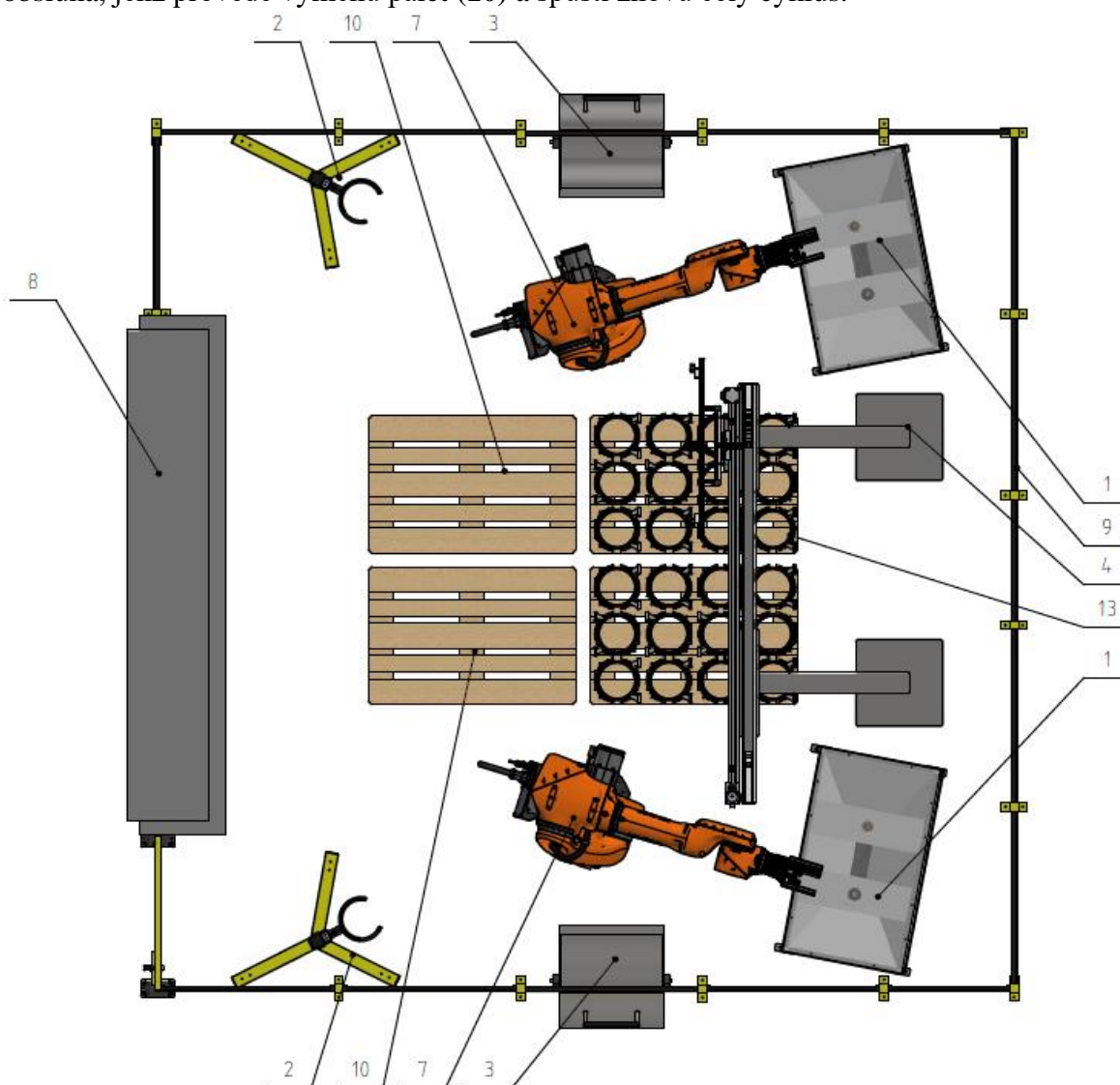
6 NÁVRH ROZLOŽENÍ ROBOTICKÉ BUŇKY

Výběrové varianty jsou složeny z robotů KR 30 R 2100, který disponuje maximální nosností 30 kilogramů a maximálního dosahu 2100 milimetrů. [34] Dále je ve variantách využito 3D kamery pro Bin picking Ranger-D40213, která disponuje s rozlišením 512 px x 512 px. [35] Hlavním bezpečnostním prvkem bylo ve variantách využito oplocení od firmy Alváris. Byly použity tabule s průhledným plastem a s plechovou výplní. Plná výplň oplocení byla vybrána z důvodu, že v buňce bude probíhat vysokorychlostní obrábění a mohlo by nastat zranění odletujícími hliníkovými třískami. [36] Dalšími bezpečnostními prvky kterými buňky disponují jsou bezpečnostní zámky Euchner MGB od firmy Alváris, navíc varianta dvě a varianta tři obsahuje optickou závoru od firmy BALLUFF. Součástí oplocení jsou i rychloběžná vrata typu EFA-SST® MS od firmy EFAFLEX, která umožňují vjezd s manipulační technikou do pracovního prostoru robotu, kvůli výměně palet.

Ve všech variantách byly využity dva roboty, kteří pracují současně. Použití dvou robotů je z důvodů urychlení výrobního procesu a dodržení výrobního taktu za 1,5 až 1,8 minuty na opracování jednoho statoru elektromotoru.

6.1 Varianta 1

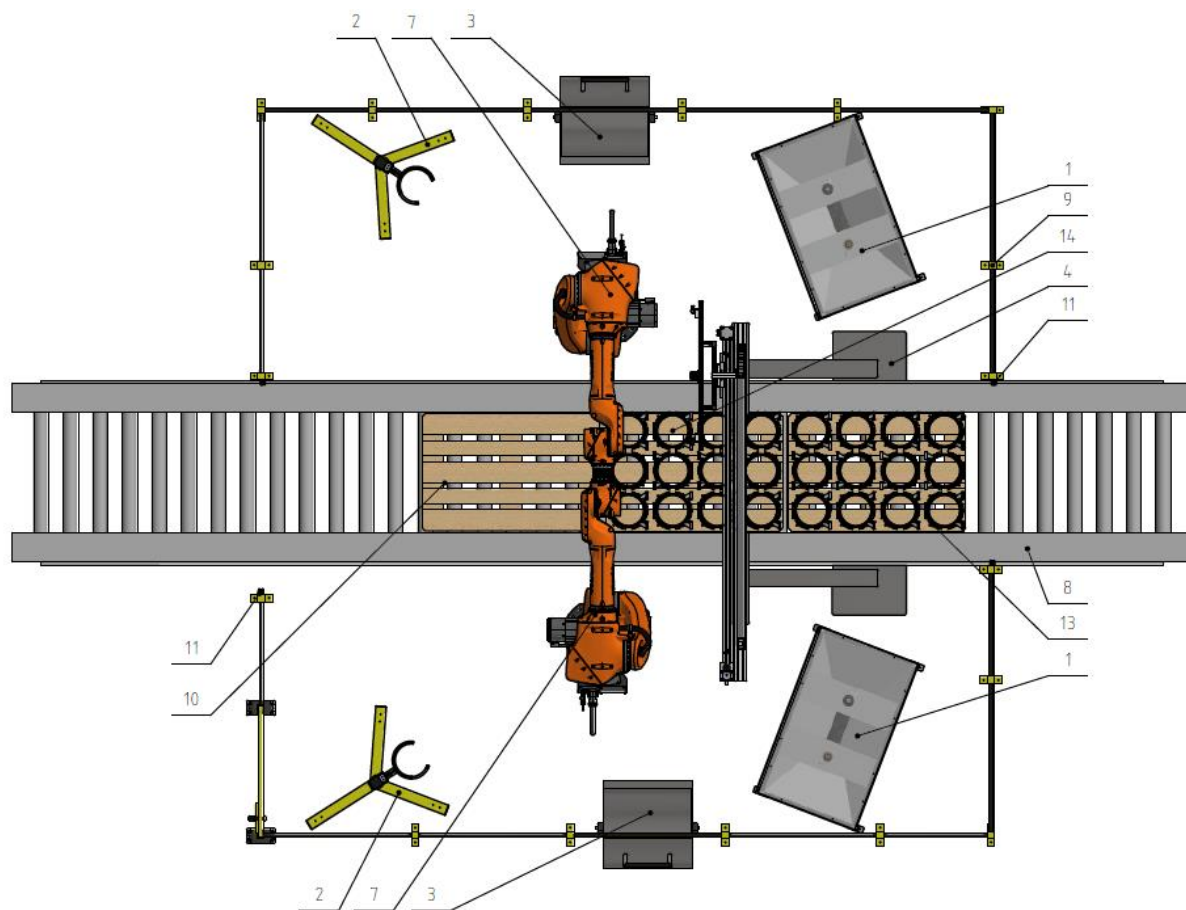
Varianta jedna je založena na manuální výměně prázdných a plných palet (10) do pracovního prostoru buňky. Bin picking (4) oskenuje palety (10) a odešle robotům (7) informace o poloze jednotlivých satorů (13). Roboty (3) postupně odebírají neopracované satory (13) z palety (10), které následně přenášejí do frézovacího stolu (1), kde je polovina satoru (13) opracována. Po částečném opracování je sator (13) robotem (7) přenesen a uložen do otočného stojanu (2). Na otočném stojanu (2) je sator (13) otočen o 180°, kde ho poté odebírá robot (7) z druhé strany. Robot (7) sator přenášejí zpět do frézovacího stolu (1), kde se dokončí opracování. Po dokončení mohou nastat dva scénáře. Při vznesení požadavku na kontrolu satoru (13) robot (7) opracovaný sator (13) odloží do kontrolního boxu (3) a poté přejíždí na pozici k odebrání dalšího satoru (13) z palety (10). Obsluha vykloupí kontrolní box (3) čímž se jí otevře přístup ke satoru (13) a zároveň uzavře přístup do nebezpečného prostoru buňky. Po vykloupení boxu (3) obsluha odebírá sator (13) a provede kontrolu opracování. Po kontrole sator (13) odkládá na speciální paletu, která se nachází mimo buňku. Druhá možnost je, že obsluha požadavek nevznese a sator (13) je po opracování přenášen robotem (7) na volnou paletu (10). Jakmile je dokončen poslední sator (13), je přivolána obsluha, jenž provede výměnu palet (10) a spustí znovu celý cyklus.



Obr. 19) Layout prvního návrhu varianty

6.2 Varianta 2

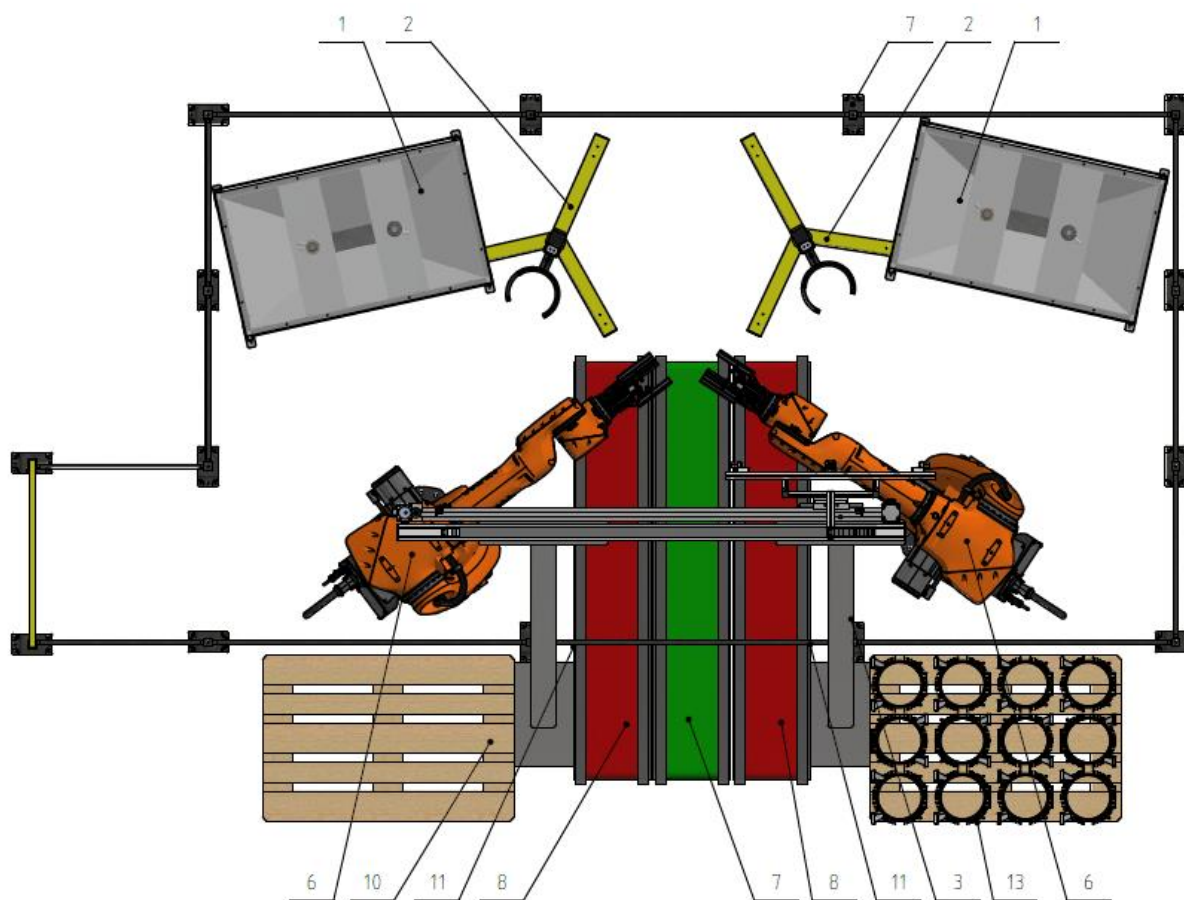
Varianta založená na zavážení palet (10) do pracovního prostoru válečkovým dopravníkem (8). Plné palety (10) jsou naskládány do zásoby na válečkový dopravník (8). Bin picking (4) oskenuje paletu (10) a odešle robotům (7) informace o poloze jednotlivých statorů (13). Roboty (7) odebírají neopracované statory (13) z palety (10), které přenášejí do frézovacího stolu (1), kde je stator (13) z poloviny opracován. Poté robot (7) odnáší z poloviny opracovaný stator (13) do otočného stojanu (2), kde je stator (13) otočený o 180°. Jakmile je stator (13) otočen, robot (7) stator (13) uchopuje z druhé strany a odnáší do frézovacího stolu (1), kde je opracován zbytek nálitků. Po opracování mohou nastat stejně jako ve variantě 1 dva scénáře. Robot (7) po opracování může hotový stator (13) odnést do kontrolního boxu (3) pro následnou kontrolu, anebo odnáší stator (13) na prázdnou paletu (10). Po odložení statoru (13) na prázdnou paletu robot (7) přejíždí pro nový neopracovaný stator (13). Tento cyklus se opakuje do doby, kdy je paleta (10) prázdná. Poté se aktivuje válečkový dopravník (8) a plnou paletu s opracovanými statory (10) odváží mimo pracovní prostor, kde ji následně obsluha odebírá z dopravníku (8). Zbytek palet (10) se posune o délku jedné palety (10), čímž se dostáváme do původní pozice za celý proces se následně opakuje.



Obr. 20) Layout druhého návrhu varianty

6.3 Varianta 3

Varianta tři není soběstačná a pro její funkci je vyžadována obsluha, která bude na dopravníkový pás (7) postupně přeskládat statory z palety (10). Po položení statoru na dopravníkový pás (7) přejede stator (13) k robotům (7). Pomocí bin pickingu (4) je určeno přesné natočení statoru (13) a jeden z robotů (7) stator (13) odebírá. Po odebrání statoru (13) robotem (7) je zanesen do frézovacího stolu (1), kde je z poloviny obroben. Napůl obrobený stator (13) je dále přesouván robotem (7) do otočného stojanu (2), kde je otočen o 180° a tím umožní robotu (7) ho uchopit z druhé strany. Po uchopení statoru (13) je dále robotem (7) přenesen do frézovacího stolu (1), kde je obroben zbytek nálitků. Jakmile je stator (13) hotový, robot (7) ho odnáší a odkládá na pásový dopravník (8), který stator (13) odváží z pracovního prostoru robotické buňky. Obsluha hotový stator (13) odebírá z pásového dopravníku (8) a pokládá na volnou paletu (10), anebo provádí kontrolu.



Obr. 21) Layout třetího návrhu varianty

6.4 Výběr vhodné varianty

Tab. 1) Výhody a nevýhody návrhových variant

Varianta 1	
Výhody	Nevýhody
menší zástavbový prostor	nutnost odstavení pracoviště z důvodu výměny palet se statory
nižší pořizovací náklady	
Varianta 2	
Výhody	Nevýhody
Pracoviště je schopné pracovat nepřetržitě	Větší zástavbové prostory
	Vyšší náklady z důvodu použití dopravníku na palety a optických závor
Varianta 3	
Výhody	Nevýhody
Menší zástavbové prostory	Je vyžadována stálá přítomnost obsluhy
Nižší pořizovací náklady	Fyzicky náročná manipulace není přesunuta na roboty.
	Pracoviště je závislé na podávání jednotlivých statorů obsluhou.

6.4.1 Zdůvodnění výběru varianty

Při výběru varianty bylo hodnoceno několik faktorů jako jsou pořizovací náklady, zástavbový prostor a princip dodávání a odebírání statorů. Při zhodnocení těchto faktorů vyšla nejhůře varianta 3, kde je vyžadována stálá přítomnost obsluhy a fyzicky náročná práce není plnohodnotně přesunuta na robot. Na druhé místo byla zařazena varianta číslo dva, kde je využito dopravníku procházejícího skrze robotizované pracoviště. Velikou výhodou tohoto řešení je schopnost nepřerušovaného provozu. Avšak větší zástavbový prostor a nutnost umožnění přístupu ze dvou stran činí tuto variantu jako méně preferovanou při výběru případným zákazníkem. Pro podrobnější zpracování v mé diplomové práci jsem se rozhodl pro variantu jedna, která nabízí kompaktní provedení a přístup přes vrata, které umožní obsluze relativně rychlou výměnu palet pomocí paletových vozíků.

Toto hodnocení je vysoce subjektivní, protože výběr varianty bude záviset na případném zadavateli projektu, který předloží upřesňující požadavky na vyšší investice a na velikost zástavbového prostoru.

7 VÝBĚR KOMPONENT PRO ROBOTICKOU BUŇKU

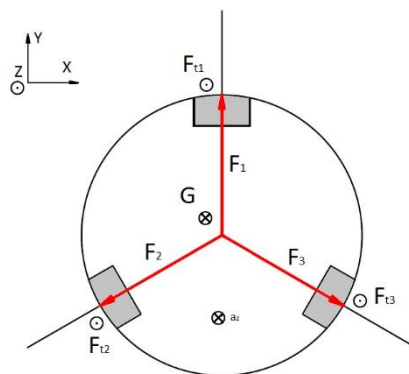
7.1 Koncový efektor

7.1.1 Vstupní parametry

Součinitel smykového tření hliník – hliník (mastný)	$f = 0.3$
Hmotnost statoru elektromotoru	$m = 4.5\text{kg}$
Tíhové zrychlení	$g = 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
Zrychlení robotu	$a_z = 14 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
Koeficient bezpečnosti	$k = 2$

7.1.2 Výpočet úchopové síly

Statický rozbor při pohybu koncového efektoru v kladném směru osy Z



Obr. 22) Zrychlení v kladném směru osy Z

$$\sum F_Y = 0 \quad F_{3X} - F_{2X} = 0 \quad (1)$$

$$\sum F_Y = 0 \quad F_1 - F_{2Y} - F_{3Y} = 0 \quad (2)$$

$$\sum F_Z = 0 \quad F_{t1} + F_{t2} + F_{t3} - G = m \cdot a_z \quad (3)$$

$$F_1 \cdot f + F_2 \cdot f + F_{t3} \cdot f - m \cdot g = m \cdot a_z \quad (4)$$

Za podmínky: $F_1 = F_2 = F_3$

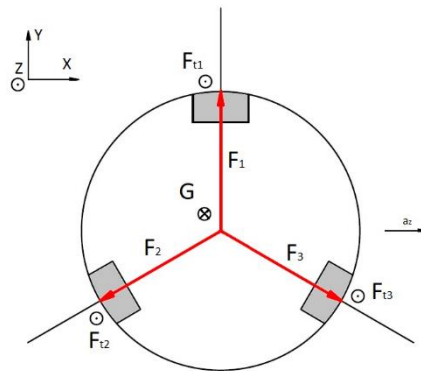
$$F_1 \cdot 3f = m \cdot g + m \cdot a_z \quad (5)$$

$$F_1 = \frac{m \cdot g}{3f} + \frac{m \cdot a_z}{3f}$$

$$F_1 = \frac{4,5 \cdot 9,81}{3 \cdot 0,3} + \frac{4,5 \cdot 14}{3 \cdot 0,3}$$

$$F_1 = 119\text{N}$$

Statický rozbor při pohybu koncového efektoru ve směru osy X



Obr. 23) Zrychlení v kladném směru osy X

$$\sum F_Y = 0 \quad F_{3X} - F_{2X} = -m \cdot a_z \quad (6)$$

$$F_3 \cdot \cos(30) - F_2 \cdot \cos(30) = -m \cdot a_z \quad (7)$$

$$\sum F_Y = 0 \quad F_1 - F_{2Y} - F_{3Y} = 0 \quad (8)$$

$$F_1 = F_2 \cdot \cos(60) + F_3 \cdot \cos(60) \quad (9)$$

$$\sum F_Z = 0 \quad F_{t1} + F_{t2} + F_{t3} - G = 0 \quad (10)$$

$$F_1 \cdot f + F_2 \cdot f + F_{t3} \cdot f - m \cdot g = 0 \quad (11)$$

Po úpravách a dosazení předchozích rovnic dostáváme:

$$F_2 = \frac{m \cdot (a_z \cdot f + \frac{\sqrt{3}}{2} g + \frac{1}{2} a_z \cdot f)}{\frac{\sqrt{3}}{2} \cdot f + \sqrt{3} \cdot f}$$

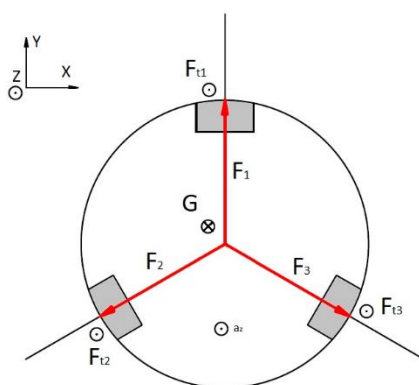
$$F_2 = 85,4N$$

Po dosazení a dopočítání zbylých sil dostáváme:

$$F_3 = 12,6N$$

$$F_1 = 49N$$

Statický rozbor při pohybu koncového efektoru v záporném směru osy Z



Obr. 24) Zrychlení v záporném směru osy Z

$$\sum F_Y = 0 \quad F_{3X} - F_{2X} = 0 \quad (12)$$

$$\sum F_Y = 0 \quad F_1 - F_{2Y} - F_{3Y} = 0 \quad (13)$$

$$\sum F_Z = 0 \quad F_{t1} + F_{t2} + F_{t3} - G = -m \cdot a_z \quad (14)$$

$$F_1 \cdot f + F_2 \cdot f + F_{t3} \cdot f - m \cdot g = -m \cdot a_z \quad (15)$$

Za podmínky: $F_1 = F_2 = F_3$

$$F_1 \cdot 3f = m \cdot g - m \cdot a_z \quad (16)$$

$$F_1 = \frac{m \cdot g}{3f} - \frac{m \cdot a_z}{3f}$$

$$F_1 = \frac{4,5 \cdot 9,81}{3 \cdot 0,3} - \frac{4,5 \cdot 14}{3 \cdot 0,3}$$

$$F_1 = -20N$$

Byly sestaveny rovnice pro různé silové zatížení uchopovaného tělesa, v prvním případě je uvažováno, že robot zvedá stator z palety vzhůru. V tomto případě je směr zatížení způsobený zrychlením robotu, má stejný směr jako tíhová síla. V druhém případě byl uvažován pohyb do strany, kde síla způsobená zrychlením má kolmý směr na tíhovou sílu. V třetím případě byl uvažován pohyb směrem dolů, tedy ukládání statoru na paletu. V tomto případě byl směr síly způsobené zrychlením robotu opačný k tíhové síle.

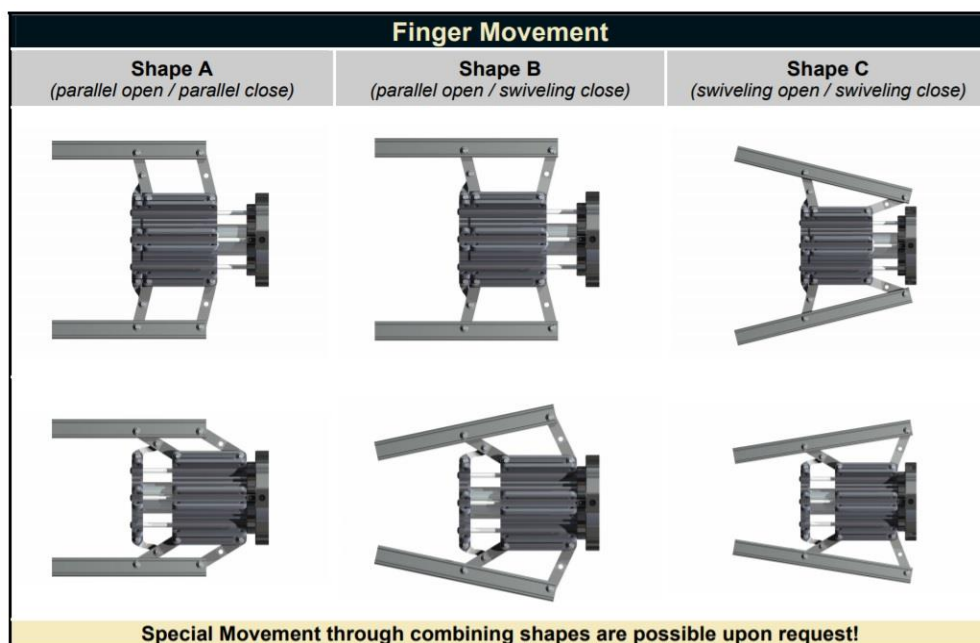
Dle výsledků lze stanovit, že nejkritičtější pohyb bude směrem vzhůru, kde minimální hodnota přítláčné síly je 119 N. Tato hodnota bude dále vynásobena koeficientem bezpečnosti $k = 2$, aby se předešlo samovolnému uvolnění. Po vynásobení koeficientem bezpečnosti získáváme minimální přídržnou sílu: $F_1 = F_2 = F_3 = 238 N$.

7.1.3 Koncový efektor

Pro manipulaci s elektromotory bylo vybráno chapadlo od německé firmy GMG – Gesellschaft fuer modulare Greifersysteme mbH. Tato firma nabízí modulární koncové efekty pro uchopování rotačních součástí. Koncové efekty této firmy díky stavebnicovému provedení nabízí jednoduchou změnu počtu prstů podle potřeb zákazníka. Pro manipulaci se statorem elektromotoru byl vybrán koncový efektor nesoucí označení C06 v provedení A, což odpovídá souběžnému otevírání prstů viz (**Obr. 24**). Délka prstů byla vybrána 100 mm (tj. celková délka styčné plochy 197 mm). Celková hmotnost koncového efektoru při osazení třemi prsty bude dle **Tab. (2)** 2,855kg. [38]

Tab. 2) Specifikace koncového efektoru [38]

Typ C06		
Délka prstu		100
Typ A	Zdvih	53
	Upínací šířka	200 do 253
	Upínací síla	690 to 4.650
Pohon		Pneumatika
Pracovní tlak vzduchu		2 do 6 bar
Doba cyklu		0,5 s
Spotřeba energie za cyklus		0,95 litrů (při 6 bar)
Pracovní teplota		-30 do +80°C
Hmotnost	Tělo efektoru	2kg
	Mechanismus prstu /ks	max. 285g
Zatížení na prst s uchopenou hmotností a akcelerací	Mx max	5,5Nm (Fy:55N při délce prstu F=100mm)
	My max	11Nm (Fy:110N při délce prstu F=100mm)
	Mz max	8 Nm
	Fz max	250 N



Obr. 25) Pohyb prstů koncového efektoru [38]

7.2 Robot

Při výběru robotu byla zvolena firma Kuka z důvodu využití softwaru Siemens Process Simulate fakulty UVSSR, který podporuje RCS moduly pouze k robotům firmy Kuka.

V robotické buňce bude vyžadován robot, disponující minimálním dosahem 2000 mm, aby byl schopen odebírat a odkládat statory z celé plochy europalet, celková hmotnost připojené periferie a statoru elektromotoru na robot je cca 8 kilogramů, dále je vyžadována stabilita při frézování nálitků a ostrých hran, proto byly vybrány roboty s minimální nosností 16 kilogramů.

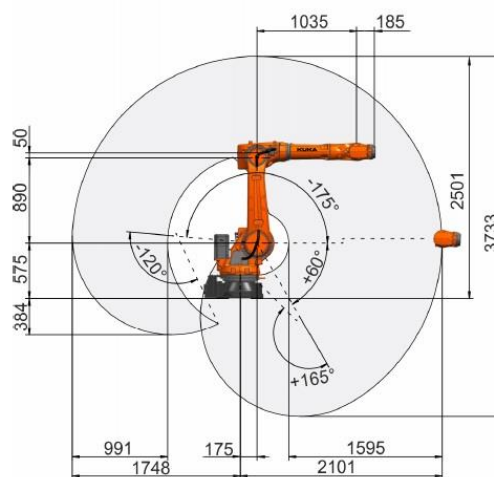
Tab. 3) Vhodné typy robotů [32] [34]

Robot (typ)	Nosnost	Dosah
KR 16 R2010-2	16 kg	2013 mm
KR 30 R 2100	30 kg	2100 mm
KR 60-3	60 kg	2429 mm

Byly vybrány tři vhodné roboty, kterými by mohla být buňka osazena. Robot KR 16 R2010-2 je pro svůj dosah vynikající volbou, avšak kvůli nosnosti 16 kg by tuhost při frézování nemusela být dostačující. Další možnou alternativou je typ KR 60-3, avšak zde již nosnost a dosah jsou pro naši buňku zbytečné, využití těchto robotů by bylo vhodné v případě, kdy by se plánovaly v buňce i další typy statorů elektromotorů s vysokou hmotností. Pro robotické pracoviště byly vybrány roboty KR30 R2100 s nosností 30 kg a dosahem 2100. Nosnost robotu je vyšší, než je potřeba, avšak vyšší míra nosnosti bude mít vliv na vyšší životnost robotu. Dále při výrobě elektromotorů může dojít k změně typu statoru elektromotoru, který může dosahovat vyšší hmotnosti. A v tomto případě bude jednodušší přechod na novou výrobu. [32][34]



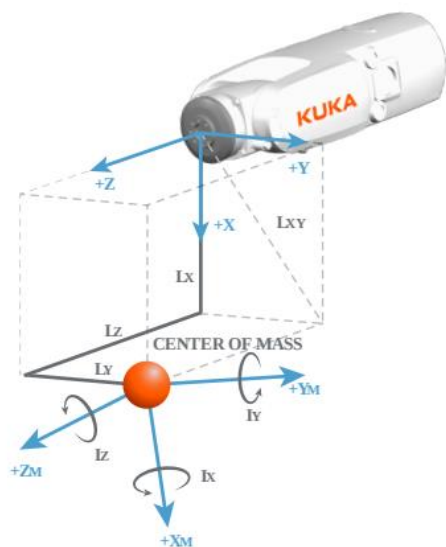
Obr. 26) Kuka - KR30 R2100 [34]



Obr. 27) Kuka - KR30 R2100 velikost pracovního prostoru [34]

7.2.1 Kontrola nosnosti robotu (dle compose.kuka.com)

Hodnoty zadávané do systému byly zjištěny v softwaru Autodesk Inventor.

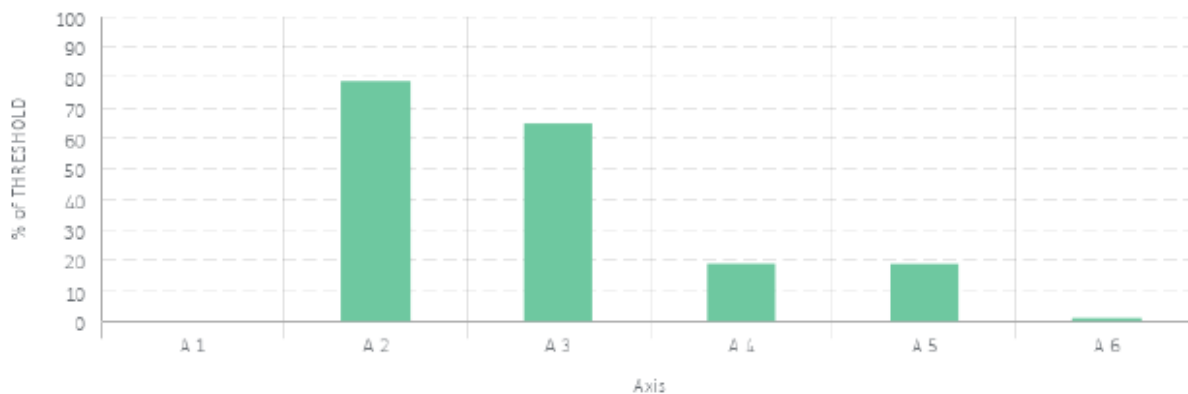


Obr. 28) Znáznornění umístění polohy těžiště a působících momentů na robot

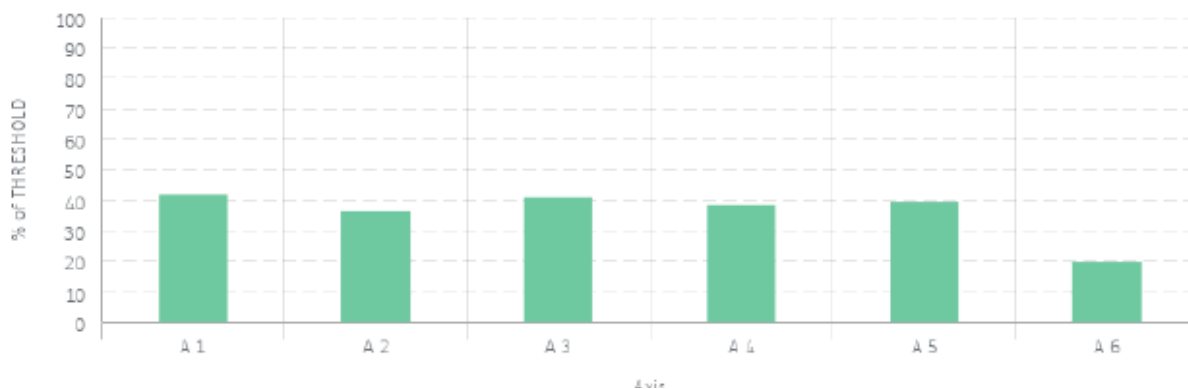
Tab. 4) Hodnoty potřebné pro výpočet zatížení robotu

Hmotnost [kg]	7.3
Lx [mm]	8.3
Ly [mm]	-5
Lz [mm]	146
Mx [kg m ²]	0.077
My [kg m ²]	0.078
Mz [kg m ²]	0.069

STATIC ANALYSIS



DYNAMIC ANALYSIS



Obr. 29) Statické a dynamické zatížení robotu (dle compose.kuka.com)

7.3 Bin Picking

Je technologie rozeznávání volně ložených prvků, kterým udává souřadné systémy, pomocí kterých je následně robot schopen jednotlivé díly uchopit.

Pro rozpoznávání se používá dvou základních principů Stereo vize a Laserové triangulace. Stereo vize se skládá ze dvou 2D kamer, které snímající prostor ze dvou různých úhlů, poté ze dvou pořízených snímků je dopočítáván 3D obraz. Druhý princip laserové triangulace se skládá z kamery a lineárního laseru, čímž se získá 3D obraz. Takto získaný 3D obraz je následně zpracován. Výsledkem zpracování jsou data, která obsahují souřadnice a natočení rozpoznávaných dílů. Data jsou následně odeslána robotu, který postupně díly vybírá.

Bez použití této technologie musí být robotu vždy jednotlivé díly skládány, nebo pomocí zásobníku umísťovány na přesně definované místo v pracovním prostoru robotu, aby je byl robot schopen odebrat a provádět s ním další operace. Při použití technologie Bin Picking můžeme k robotu přivést paletu nebo bednu s volně loženými díly a robot ve spolupráci s touto technologií identifikuje orientaci dílu v prostoru a s přesností ho uchopí. Použitím této technologie se zvyšuje autonomie robotické buňky.

Pro určování polohy statorů na paletě byla vybrána kamera Ranger-D40213 od firmy SICK. Kamera Ranger-D40213 obsahuje obrazový senzor CMOS s rozlišením 512 px x 512 px. [35]

7.4 Robotická vřetena (odjehlovací vřetena)

Robotická vřetena pracují na principu turbíny (1), jejíž hnací médium je stlačený vzduch přiváděný přípojkou (5). Tato vysokofrekvenční vřetena dosahují rychlosti až desítek tisíc otáček za minutu, to jim umožňuje používat vysoké rychlosti posuvů. Stlačený vzduch přiváděný přívodem (4) ovládá kroužek válce (2), čímž se upravuje kontaktní tlak vřetene na obrobek. Tato vřetena lze připevnit přímo na robota, nebo je lze upevnit jako statický prvek kolem kterého se pohybuje obrobek.



Obr. 30) Průřezový diagram odjehlovacím vřetenem Schunk [39]

Roboty s těmito vřeteny sice nemohou konkurovat s klasickými CNC obráběcími centry z hlediska tuhosti práce, ale nabízí zajímavé řešení hlavně při dokončovacích operacích na dílech, které nejsou přesné, především se jedná o odlitky. Roboty s těmito vřeteny jsou schopny frézovat rozdělovací linky po odlití, odstraňovat nálitky a ořepy, dále je toto vřeteno schopno brousit tvarově složité a rozměrné obrobky.

V buňce je použito vřeteno od firmy SCHUNK FDB 340 a FDB 300. Vřeteno FDB 340 bude díky vyššímu výkonu použito pro hrubování nálitků a srážení hran a vřeteno RS 300 bude využito pro menší nástroj, kterým se budou odstraňovat nálitky v hůře přístupných místech. Tento výběr je založený pouze na subjektivním pocitu. Síla a otáčky vřetena jsou závislé na velikosti nálitků na statoru, v testovacím provozu se může ukázat, že vybrané vřeteno je nedostačující, a proto může dojít ke záměně vřeten za výkonnější typ např.: FDB 660 o výkonu 660 W.

Tab. 5) Základní parametry vybraných pneumatických vřeten [39] [40]

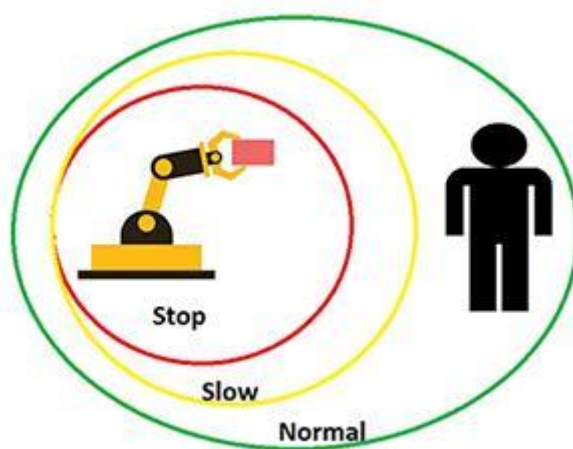
-	FDB 340	FDB 300	FDB 660
Velikost poddajnosti	12 – 42 [N]	12 – 42 [N]	18,4 – 45 [N]
Spotřeba vzduchu	5,6 – 10,2 [l / s]	5,6 – 10,2 [l / s]	9,4 – 17,9 [l / s]
Volnoběžné otáčky	40 000 [ot / min]	30 000 [ot / min]	40 000 [ot / min]
Výkon při volnoběžných otáčkách	340 [W]	300 [W]	660 [W]

7.5 Bezpečnostní prvky robotických buněk (bezpečnost robotické buňky)

Při návrhu robotického pracoviště je důležité zajistit bezpečnost lidí, kteří se pohybují v jeho nejbližším okolí. Při návrhu robotické buňky je třeba zvážit, zda je nutná přítomnost obsluhy v pracovním prostoru robotu.

Jestli je přítomnost obsluhy nezbytná po celou dobu, může být využito kolaborativních robotů, kteří jsou svými vlastnostmi přizpůsobeni spolupráci s člověkem a není třeba dalšího bezpečnostního opatření.

Pokud je přítomnost obsluhy v okolí robotu chvilková, lze využít průmyslových robotů bez oplocení, avšak musí být zajištěna bezpečnost obsluhy. V tomto případě jsou kolem robotu vytvořeny bezpečnostní zóny viz (**Obr. 30**), které při detekci obsluhy sníží rychlost robotu, anebo ho zastaví, velikost a tvar bezpečnostních zón musí být vytvořeny v závislosti na pracovišti tak, aby robot byl schopen bezpečně zareagovat na přítomnost obsluhy v jeho okolí.



Obr. 31) Schématické znázornění bezpečnostních zón [41]

V situaci, kdy obsluha u výrobního procesu není nutná, nebo předměty k manipulaci jsou nebezpečné, musí být zajištěna bezpečnost obsluhy. V těchto případech se využívá nejčastěji oplocení, nebo jiné kryty celého robotu a dalších bezpečnostních prvků, jako jsou tlačítka nouzového zastavení, bezpečnostní zámky tak, aby se do jeho pracovního prostoru nedostala obsluha. V případě, kdy oplocení nelze využít, např. zásobování výrobní buňky materiálem pomocí dopravníku, musí být využito jiného zabezpečení, například optických závor.

7.5.1 Tlačítko nouzového zastavení

Dle zákona musí být každé strojní zařízení (v našem případě robotická buňka) vybaveno nejméně jedním, nebo několika tlačítky nouzového zastavení, které při aktivaci mají za úkol co nejrychleji přerušit veškeré operace v buňce, aniž by se objevilo další nebezpečí. Při spuštění tlačítka ale nesmí být vyřazeny z provozu bezpečnostní prvky. Tlačítka nouzového zastavení musí být instalována na viditelných a snadno dostupných místech. Další vlastností těchto tlačítek je možnost aretace, nebo uzamknutí v poloze VYPNUTO, tímto je zařízení zabezpečeno proti samovolnému spuštění. [42]



Obr. 32) Tlačítka nouzového zastavení [42]

7.5.2 Bezpečnostní optické závory, závěsy a mříže

Optické závěsy a mříže jsou určitou náhradou klasických mechanických zábran, jakou jsou například bezpečnostní ploty, plexiskla nebo jiné kryty, které zabraňují vstupu do nebezpečných prostorů. Optické závěsy jsou využívány hlavně tam, kde je potřebný častý přístup do pracovního prostoru, nebo tam, kde je zajištěn automatický vstup a výstup materiálu z pracovního prostoru. Hlavním parametrem optických závěsů a mříží je rozlišení. To definuje vzdálenosti sousedních paprsků a také nejmenší velikost překážek, které jsou závory schopny rozeznat. Jednocestné optické závory se skládají z vysílače a snímače umístěného ve dvou zařízeních. Z vysílače je vyslán paprsek světla (nejčastěji laserový paprsek), který je zachycován snímačem umístěným v druhém zařízení. Jakmile vstoupí do prostoru mezi nimi předmět, je senzorem detekován. Následně je vyslána informace do řídicího systému, a to může mít za důsledek zastavení výrobního procesu, nebo jeho části. Dalším typem jsou dvoucestné optické závory, kdy je zdroj paprsku a snímač umístěn v jednom zařízení. Na druhé straně cesty je nainstalována odrazka, která odráží paprsek zpátky do senzoru. Dosah dvoucestných optických závor je nižší než u jednocestných.

Nevýhodou optických závěsů je snížená funkce v prašných provozech, kde je potřeba optické prvky udržovat v čistotě, aby byla zajištěna jejich správná funkce.

Od této rozlišovací schopnosti se definují stupně ochrany

- 1) ochrana proti vniknutí prstu rozlišení do 14 mm
- 2) ochrana proti vniknutí ruky rozlišení 20 až 40 mm
- 3) ochrana proti vniknutí těla nebo jeho části rozlišení 50 až 90 mm. [44]



Obr. 33) Bezpečnostní optický závěs [43]

7.5.3 Oplocení

Hlavním prvkem pro snižování výskytu nebezpečných situací je oplocení. Oplocení strojů a zařízení má za úkol zabránit vstupu personálu do potenciálně nebezpečných prostor. Pod pojmem nebezpečný prostor si lze představit pracovní prostor robotu, kde se robot pohybuje vysokou rychlostí, nebo prostor, kde dochází k obrábění kovových dílů při čemž vznikají žhavé třísky. Oplocení mechanicky zabraňuje vniknutí úmyslné, nebo neúmyslné, osob, nebo jakékoli části těla do nebezpečného prostoru uvnitř buňky. Oplocení je k dostání v mnoha provedeních, pletivové, oplocení s transparentním polykarbonátem, nebo plechové. Polykarbonátové, nebo plechové oplocení je využíváno pro výrobní prostory, kde hrozí nebezpečí odletujícím materiálem z výrobního procesu. Pokud v robotické buňce dochází pouze k přemísťování dílů, nebo zakládání dílů do obráběcího centra, lze využít oplocení pletivové.

Hlavními parametry při navrhování oplocení jsou dle ČSN EN ISO 13857 výška oplocení, výška nebezpečného prostoru, vodorovná vzdálenost k nebezpečnému prostoru a typ prostředí. Dle normy ČSN EN ISO 13857 se rozlišují dva typy prostředí. Prostředí s malým rizikem a prostředí s velkým rizikem. V prostředí s malým rizikem vznikají nebezpečí u kterých není předpokládáno zranění s trvalými následky. Dle normy ČSN EN ISO 12100-1 a ČSN EN ISO 14121 bude rozhodnuto jaké riziko vzniká v daném prostředí. Dle kapitoly 8, bylo zjištěno že robotická buňka nesplňuje požadavky na prostředí s malým rizikem. Při návrhu oplocení tedy vycházíme z **Tab. (6)**, která byla převzata z normy ČSN EN ISO 13857.

Tab. 6) Dosah přes ochranné konstrukce – Velké riziko [6]

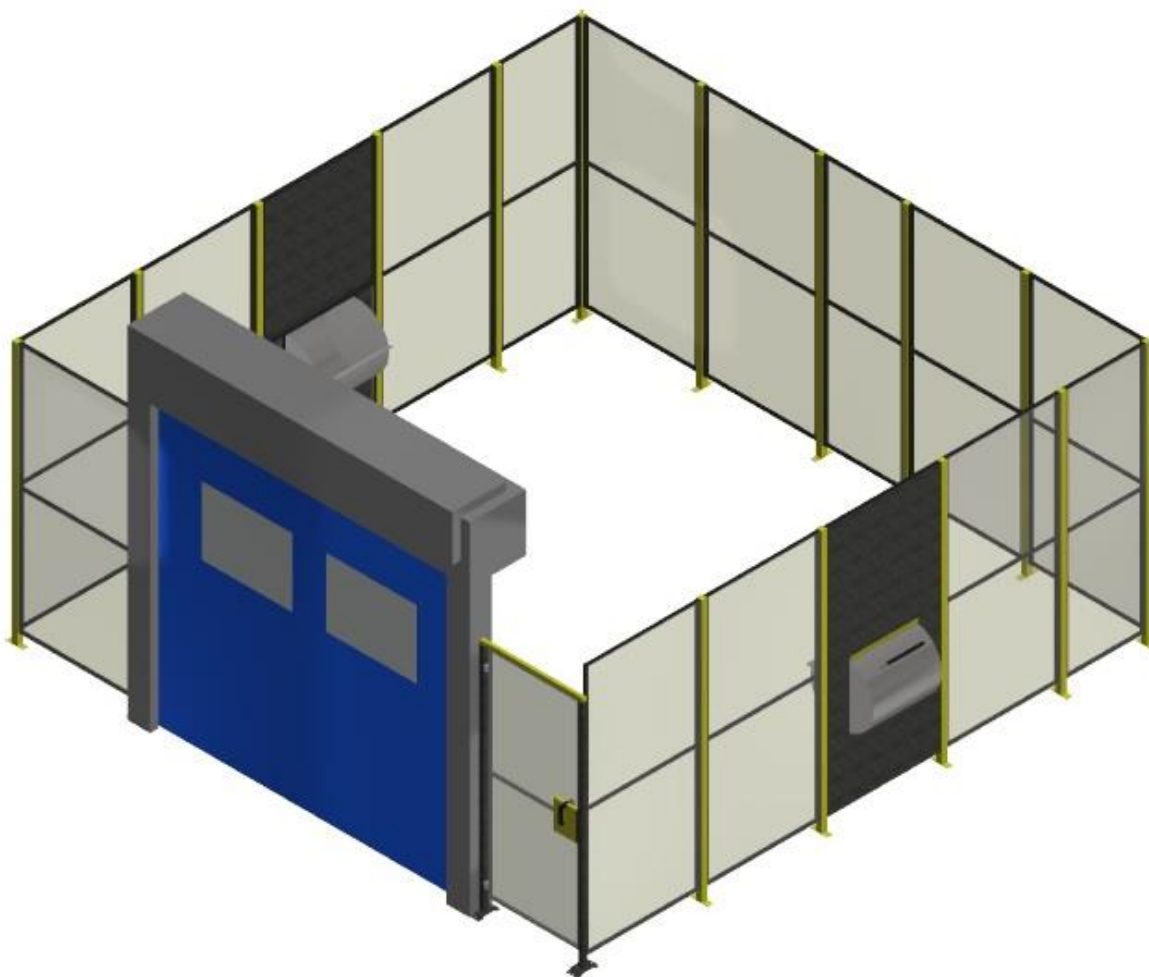
Výška nebezpečného prostoru ^{c)} a	Výška ochranné konstrukce ^{a) b)}									
	b									
	1 000	1 200	1 400 ^{b)}	1 600	1 800	2 000	2 200	2 400	2 500	2 700
Vodorovná bezpečná vzdálenost k nebezpečnému prostoru c										
2 700	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2 600	900	800	700	600	600	500	400	300	100	0
2 400	1 100	1 000	900	800	700	600	400	300	100	0
2 200	1 300	1 200	1 000	900	800	600	400	300	0	0
2 000	1 400	1 300	1 100	900	800	600	400	0	0	0
1 800	1 500	1 400	1 100	900	800	600	0	0	0	0
1 600	1 500	1 400	1 100	900	800	500	0	0	0	0
1 400	1 500	1 400	1 100	900	800	0	0	0	0	0
1 200	1 500	1 400	1 100	900	700	0	0	0	0	0
1 000	1 500	1 400	1 000	800	0	0	0	0	0	0
800	1 500	1 300	900	600	0	0	0	0	0	0
600	1 400	1 300	800	0	0	0	0	0	0	0
400	1 400	1 200	400	0	0	0	0	0	0	0
200	1 200	900	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1 100	500	0	0	0	0	0	0	0	0

a) Ochranné konstrukce o výšce nižší než 1 000 mm nejsou uvedeny, protože tyto ochranné konstrukce nedostatečně omezují pohyb těla.

b) Ochranné konstrukce nižší než 1 400 mm nemají být používány bez přidavných bezpečnostních opatření.

c) Pro nebezpečné prostory nad 2 700 viz 4.2.1.

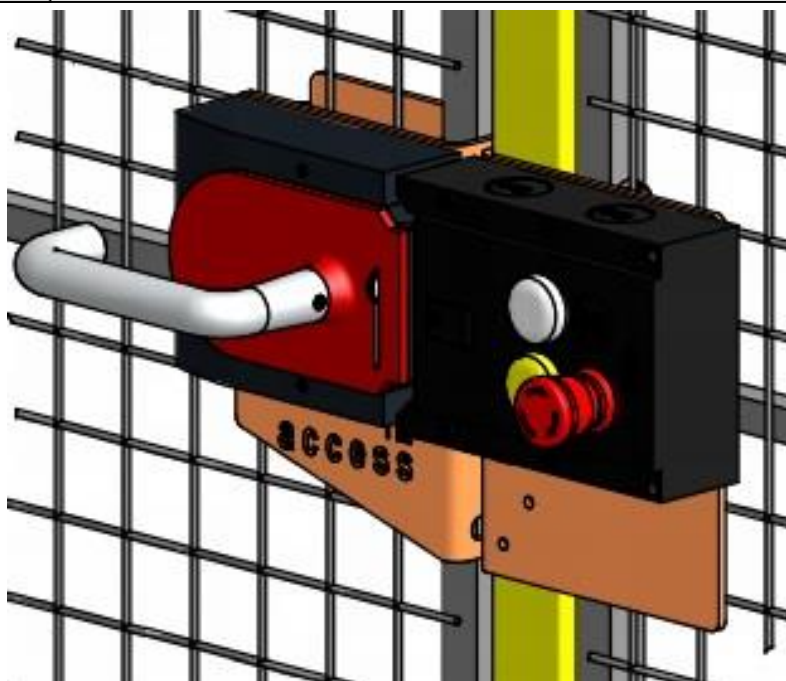
Oplocení pro robotickou buňku je nakoupeno od firmy ALVÁRIS, která nabízí kompletní zabezpečení výrobních linek a robotických pracovišť. Maximální výška nebezpečného prostoru je 1800 mm od referenční roviny, za kterou je v našem případě považována podlaha výrobní haly. Vodorovná bezpečná vzdálenost k nebezpečnému prostoru byla stanovena na 0 mm, z důvodu pohybu robotu v bezprostřední vzdálenosti od kontrolního boxu, který je zabudovaný přímo v ochranném oplocení. Nejmenší přípustná výška oplocení byla stanovena dle tabulky **Tab. (6)** na 2200 mm. [6]



Obr. 34) Vizualizace oplocení robotizovaného pracoviště

7.5.4 Bezpečnostní zámky

Každá pracovní buňka, ve které se pohybuje průmyslový robot musí být zabezpečená proti vniknutí obsluhy, proto dveře jsou zabezpečeny bezpečnostními zámky Euchner MGB od firmy ALVÁRIS. Tyto zámky umožňují zamknout dveře oplocení z vnější strany, čímž je zabráněn vstup nepovolaných osob, avšak z vnitřní zámek nelze uzamknout, čímž je umožněn unik osob z pracovního prostoru. Tento typ zámku umožňuje montáž dodatečných přepínačů a stop tlačítek. Dále dveře mohou být vybaveny systémem Euchner CES, pomocí kterých bude sledováno správné uzavření dveří. V případě neočekávaného otevření dveří bezpečně zastaví výrobní proces ve výrobní buňce. [36]



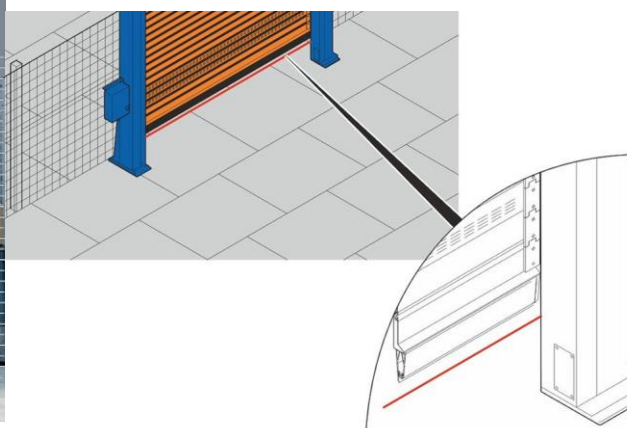
Obr. 35) Bezpečnostní zámek Euchner MGB od firmy ALVÁRIS [36]

7.6 Vrata

Pro umožnění vjezdu obsluhy do buňky s manipulačním zařízením při výměně palet. Jsou nainstalována rychloběžná vrata typu EFA-SST® MS od firmy EFAFLEX. Tato vrata jsou speciálně navržena pro robotická pracoviště jsou samonosné, proto není vyžadována montáž do zdí, a lze je tak zakomponovat do oplocení. Tento typ vrat nabízí maximální rychlost 2,7m/s. bezpečnost vrat je zajištěna optickou závorou, která monitoruje prostor pod zavírajícím se listem vrat viz (Obr. 36). Tímto je předcházeno přivření obsluhy pod spouštěcí se list vrat. Dalšími bezpečnostními funkcemi je možnost otevření vrat manuálně a zabezpečení proti volnému pádu listu vrat. [37]



Obr. 36) Samonosná vrata EFAFLEX – EFA-SST-MS [37]



Obr. 37) Detail umístění optické závory na vratech EFAFLEX [37]

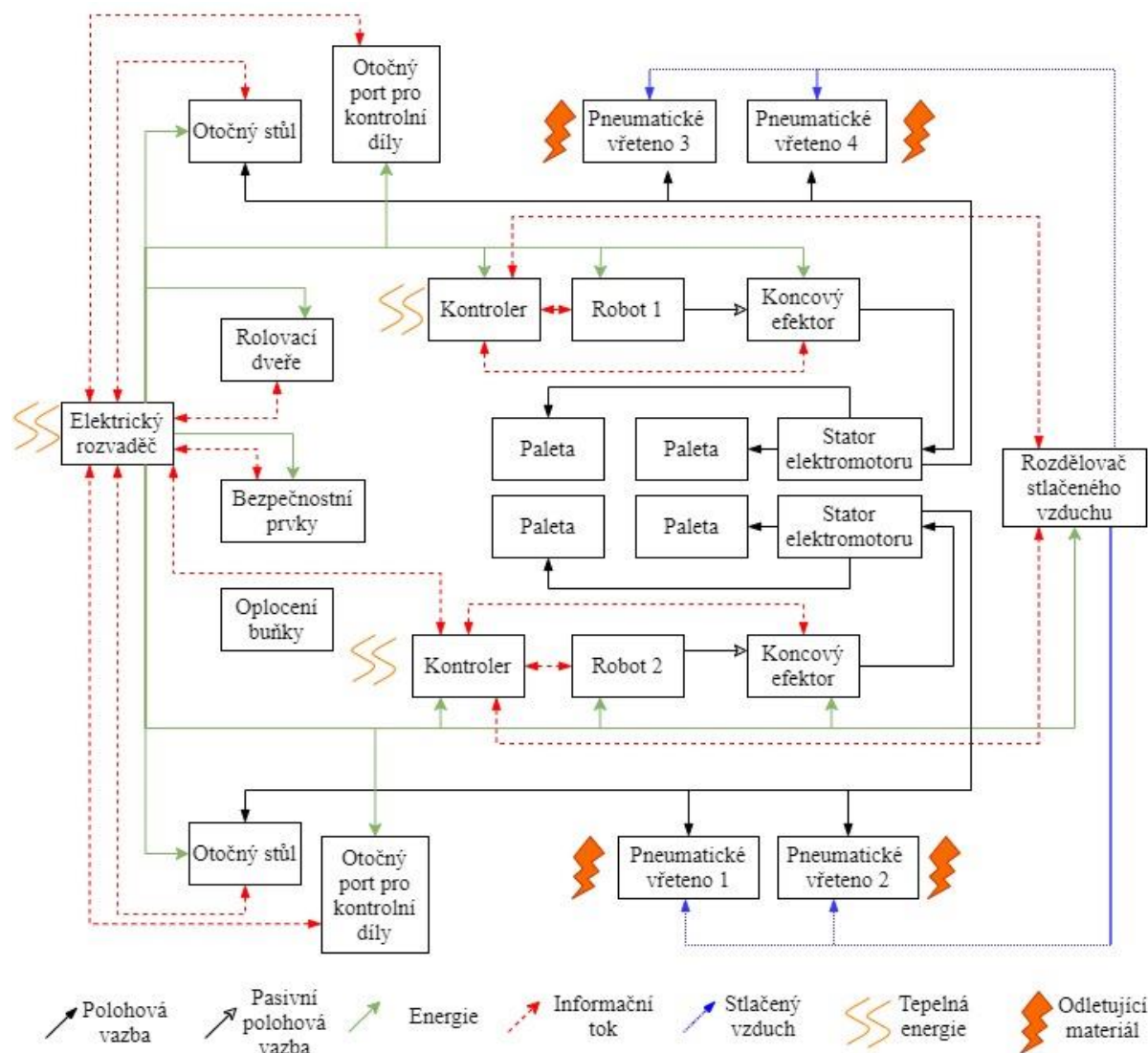
8 BEZPEČNOST ROBOTICKÉ BUŇKY

Při vykonávání práce s jakýmkoliv zařízením, nebo stojem, je neustále obsluha vystavena riziku nebezpečí, ať už jde o nebezpečí odřením o ostrou hranu, ztrátu končetiny, nebo smrt způsobenou vtažením mezi rotující válce. Proto je důležité těmto nebezpečím předcházet. Z toho důvodu se provádí analýza rizik, která má za úkol předpovědět nebezpečné situace, které během vykonávání činnosti mohou nastat a následně navrhnout opatření, které sníží možnost výskytu nebezpečí a vytvoří pro obsluhu pracoviště bezrizikové.

8.1 Systémová analýza robotické buňky

Na obrázku 37 je vytvořený blokový diagram, který slouží pro správné pochopení složitosti analyzovaného prvku, v našem případě robotické buňky. Blokové schéma obsahuje jednotlivé prvky nacházející se v robotické buňce a vazby, které mezi nimi probíhají. Pomocí blokového diagramu jsou stanovena relativní nebezpečí, která jsou s buňkou spojena [1]

Blokový diagram byl vytvořen ve webové aplikaci draw.io viz (Obr. 37)



Obr. 38) Blokový diagram robotizovaného pracoviště

8.2 Identifikace relativního nebezpečí

Při identifikaci relativního nebezpečí vycházíme z blokového diagramu, kde zvažujeme všechny části buňky a všechna relativní nebezpečí, která mohou nastat při kontaktu obsluhy s jakoukoliv částí robotické buňky.

V tabulce 7 jsou uvedena pouze některá z relativních nebezpečí, která mohou nastat v buňce, celý seznam je uveden v přílohách.

Tab. 7) Identifikace relativního nebezpečí u vybraných komponent [1]

Název komponenty systému	Poloha komponenty v systému	Typ nebezpečí dle ČSN EN ISO 12100
Kontrolní box	Pracovní prostor buňky, okolí buňky	Mechanická nebezpečí (1) Elektrická nebezpečí (2) Tepelná nebezpečí (3)
Otočný stojan	Pracovní prostor buňky	Mechanická nebezpečí (1) Elektrická nebezpečí (2) Tepelná nebezpečí (3)
Odjehlovací vřetena	Pracovní prostor buňky	Mechanická nebezpečí (1) Tepelná nebezpečí (3) Nebezpečí způsobená hlukem (4)
Rozvaděč	Vnější okolí buňky	Mechanická nebezpečí (1) Elektrická nebezpečí (2) Tepelná nebezpečí (3)
Robot	Pracovní prostor buňky	Mechanická nebezpečí (1) Elektrická nebezpečí (2) Tepelná nebezpečí (3) Nebezpečí způsobená hlukem (4) Nebezpečí materiálů (7)
Koncový efektor	Pracovní prostor buňky	Mechanická nebezpečí (1) Elektrická nebezpečí (2) Tepelná nebezpečí (3)
Euro paleta	Pracovní prostor buňky	Mechanická nebezpečí (1) Ergonomická nebezpečí (8)

8.3 Analýza významných nebezpečí

Jelikož riziko zranění může nastat již při přívodu stroje, je důležité do analýzy významných nebezpečí zahrnout všechny životní cykly buňky a její fáze. [1]

Mezi životní cykly řadíme: Dopravu

Montáž a instalace/ Uvedení do provozu

Seřizování, programování, nebo změna procesu

Provoz

Čištění a údržba

Vyhledávání závady a následné odstranění závady

Vyřazení z provozu a demontáž

Každá životní fáze má dále výpis všech možných typů nebezpečí, která mohou během ní nastat. Nebezpečí je vždy popsáno možným scénářem, který během této fáze může nastat.

Tab. 8) Ukázka analýzy významných nebezpečí [1]

ANALÝZA VÝZNAMNÝCH NEBEZPEČÍ				Typ stroje: Robotická buňka na finální operace na statoru elektromotoru
Během životního cyklu buňky				Model: -----
Poř. číslo	Fáze životního cyklu	Typ nebezpečí dle (ČSN EN ISO 12100)		Popis nebezpečné události:
		stručný popis	id. číslo	
1	Doprava			
1.1	Nakládání, přeprava, vykládání	stlačení, naražení, chyba člověka, střih	1.1-1 1.6-1 8.1-1 1.8-1	Při přepravě, nakládání a vykládání může dojít k převržení zařízení, nebo nepředvídanému posunu a následnému stlačení člověka, popřípadě jeho končetin
1.2	Balení a rozbalování	pořezání	1.2-1	Při rozbalování a manipulaci s nožem může dojít k pořezání končetin, nebo jejich částí
2	Montáž a instalace/Uvedení do provozu			
2.1	Montáž buňky a jeho částí	stlačení, odření, naražení, chyba člověka	1.1-2 1.3-1 1.6-2 8.1-2	Při montáži stroje může dojít ke stlačení mezi dvě smontované části stroje, naražení a odření kůže při dotahování jednotlivých šroubů

8.4 Přehled identifikovaných závažných nebezpečí

V přehledu identifikovaných závažných nebezpečí jsou uvedeny všechny typy nebezpečí, které byly uvedeny v analýze významných nebezpečí. Každý typ nebezpečí je v tabulce 9 zhodnocen podle závažnosti zranění, které mohou během daného nebezpečí způsobit. Hodnota závažnosti nebezpečí je určena dle (**tab. 9**), kde je nebezpečí zkoumáno z několika hledisek: [1]

Závažnost možné škody na zdraví: S1 – lehké poranění (dočasné následky)

S2 – těžké zranění (trvalé následky)

S3 – smrt

Četnost a doba trvání ohrožení: A1 – zřídka až častěji

A2 – často až trvale

Možnost vyvarování se nebezpečí: E1 – běžné

E2 – možné za určitých okolností

E3 – sotva možné

Pst. výskytu nebezpečné události: W1 – Malá

W2 – Střední

W3 – Velká

Tab. 9) Určení hodnoty velikosti nebezpečí [1]

				W1	W2	W3
START	S1	A1	E1	0	0	1
			E2	0	1	2
			E3	1	2	3
		A2	E1	2	3	4
			E2	3	4	5
			E3	4	5	6
	S2	A1	E1	5	6	7
			E2	6	7	8
			E3	7	8	9
		A2	E1	8	9	10
			E2	9	10	11
			E3	10	11	12
	S3	A1	E1	11	12	13
			E2	12	13	14
			E3	13	14	15
		A2	E1	14	15	16
			E2	15	16	17
			E3	16	17	18

Tab. 10) Ukázka přehledu identifikovaných nebezpečí [1]

Přehled identifikovaných závažných nebezpečí		S	A	E	W	hodnota
1	Mechanické nebezpečí					
1.1	Nebezpečí stlačením					
1.1-1	Nebezpečí stlačení při nakládání, přepravě a vykládání stroje	2	1	1	2	6
1.1-2	Nebezpečí stlačení při montáži buňky a jeho částí	2	1	1	2	6
1.1-3	Nebezpečí stlačení při zaměřování robotu a prvků v robotické buňce	1	1	1	1	0
1.1-4	Nebezpečí stlačení při montáži ochranného oplocení	1	1	1	2	0
1.1-5	Nebezpečí stlačení při demontáži buňky a její částí	2	1	1	2	6
1.1-6	Nebezpečí stlačení při chodu zařízení buňky naprázdno	1	2	2	2	4
1.1-7	Nebezpečí stlačení při chodu zařízení buňky při zatížení	2	2	2	2	10
1.1-8	Nebezpečí stlačení při demontáži poškozených částí	1	1	1	1	0
1.1-9	Nebezpečí stlačení při ověření konečného výrobku	1	1	1	2	0
1.1-10	Nebezpečí stlačení při výměně palet	1	2	1	2	3
1.1-11	Nebezpečí stlačení při kolizi s robotem	2	2	2	2	10

8.5 Snížení rizik

U identifikovatelných nebezpečí jejichž hodnota přesáhla hodnotu sedmi, se musí přistoupit ke snížení hodnoty nebezpečí. Aby bylo možné snížit hodnotu nebezpečí, je nutné navrhnout vhodná opatření, která se snaží zabránit, pokud je to možné, výskytu nebezpečné situace. U situací, kde tomu nejde zabránit, je důležité navrhnout vhodná opatření, která se podílejí na snížení dopadu nebezpečné situace. Snižování rizik probíhá ve třech krocích. [1]

Krok 1: Opatření zabudovaná v konstrukci

Krok 2: Bezpečnostní ochrana a doplňková ochranná opatření

Krok 3: Informace pro používání

Tab. 11) Postup snižování nebezpečí [1]

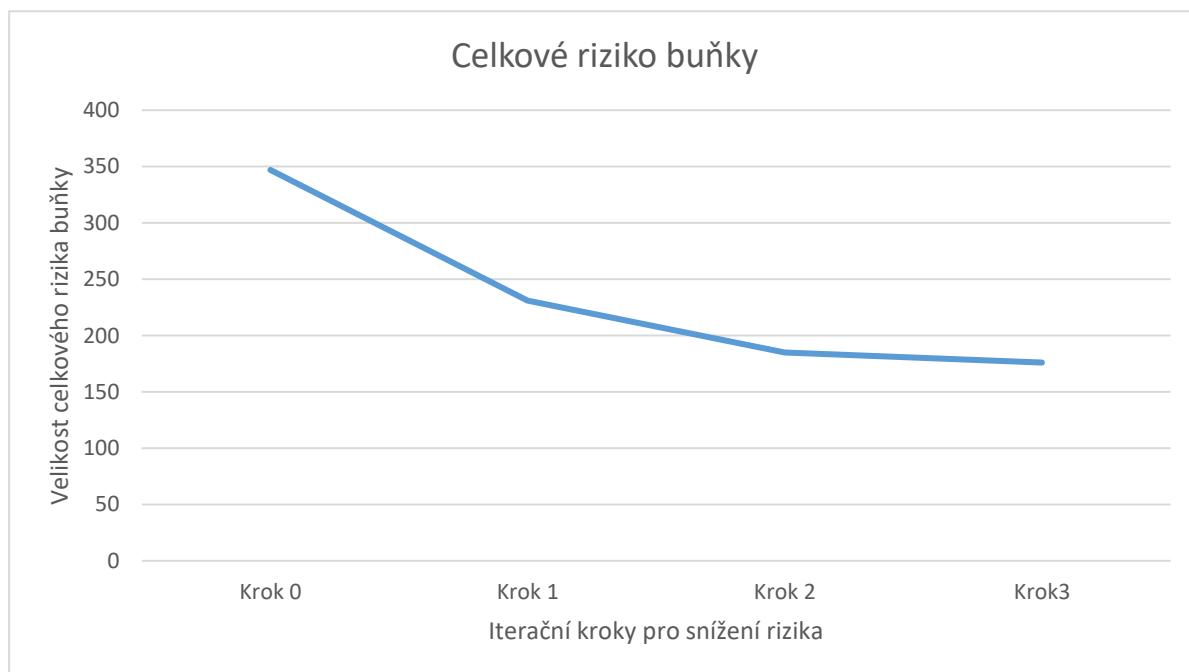
VUT v Brně, FSI ÚVSSR		FORMULÁŘ PRO ODHAD RIZIKA Zpracoval: Bc. Martin Šula		Stroj: Buňka pro dokončovací operace Datum: 8.3.2020	
Číslo nebezpečí	Identif. číslo	Označení nebezpečí dle ČSN EN ISO 12100			
		1. Mechanická nebezpečí			
1.6-8	6	Nebezpečí naražení při kolizi s robotem			
Životní etapa stroje:	Provoz		Nebezpečný prostor: Prostor buňky		
Ohrožené osoby:	Obsluha		Provozní stav stroje: V provozu		
Popis nebezpečné situace/události:	Nebezpečí srážky s robotem v provozu při pohybu v jeho blízkosti.				
Počáteční riziko:	Závažnost možné škody na zdraví	S3 – Smrt		Velikost rizika 16	
	Četnost a doba trvání ohrožení	A2 – často až trvale			
	Možnost vyvarování se nebezpečí	E2 – možné za určitých okolností			
	Pst. výskytu nebezpečné události	W2 – střední			
Krok:1 Opatření zabudovaná v konstrukci					
Popis opatření:	Umístění oplocení kolem pracovního prostoru robotu, který bude zamezovat přístup obsluhy do nebezpečného prostoru, součástí oplocení budou i bezpečnostní prvky jako jsou bezpečnostní zámky optické senzory a signalizační zařízení informující o stavu pracoviště.				
Snížené riziko po opatření	Závažnost možné škody na zdraví	S1 – lehké poranění		Velikost rizika 4	
	Četnost a doba trvání ohrožení	A2 – často až trvale			
	Možnost vyvarování se nebezpečí	E2 – možné za určitých okolností			
	Prs. výskytu nebezpečné události	W2 – střední			
Krok:2 Bezpečnostní ochrana a doplňková ochranná opatření					
Popis opatření:	Pracovníci musí být vybaveni ochranným oděvem, pracovními rukavicemi a pracovní obuví s ocelovou špičí.				
Snížené riziko po opatření	Závažnost možné škody na zdraví	S1 – lehké poranění		Velikost rizika 3	
	Četnost a doba trvání ohrožení	A2 – často až trvale			
	Možnost vyvarování se nebezpečí	E2 – možné za určitých okolností			
	Prs. výskytu nebezpečné události	W1 – malá			
Krok:3 Informace pro používání					
Popis opatření:	Obsluha musí být proškolená o bezpečnosti na pracovišti, dále musí být na viditelném místě umístěny bezpečnostní cedule zakazující vstupu nepovolaným osobám a nařizující nošení ochranných pomůcek.				
Snížené riziko po opatření	Závažnost možné škody na zdraví	S1 – lehké poranění		Velikost rizika 2	
	Četnost a doba trvání ohrožení	A2 – často až trvale			
	Možnost vyvarování se nebezpečí	E1 – běžné			
	Prs. výskytu nebezpečné události	W1 – malá			
Validace: Opatření jsou dostatečná					8.3.2020

8.6 Hodnocení celkové bezpečnosti výrobního stroje

Při určování závažnosti nebezpečí bylo dosaženo maximální hodnoty 17 při nebezpečí naražení u testování chodu buňky při zatížení. Součet všech hodnot rizik v kroku 0 byl 347. Po vytvoření opatření zabudovaných v konstrukci se hodnota snížila o 33 %. Prvkem, který se nejvíce podílel na snížení rizik je postavení bezpečnostního oplocení z polykarbonátu okolo celé robotické buňky. Po přijetí dalších opatření v kroku dva, se hodnota rizik snížila o 46 %. Po proškolení o bezpečnosti a rozmístění výstražných cedulí bylo dosaženo snížení nebezpečí téměř o padesát procent. Hodnoty a průběh snižování rizik v lze vidět v tabulce 12 a v grafu.

Tab. 12) Velikosti hodnot rizik po zavedení opatření

Iterační krok	Σ Hodnot rizik	Procentuální snížení
Krok 0	347	0 %
Krok 1	231	33 %
Krok 2	185	46 %
Krok 3	176	49 %



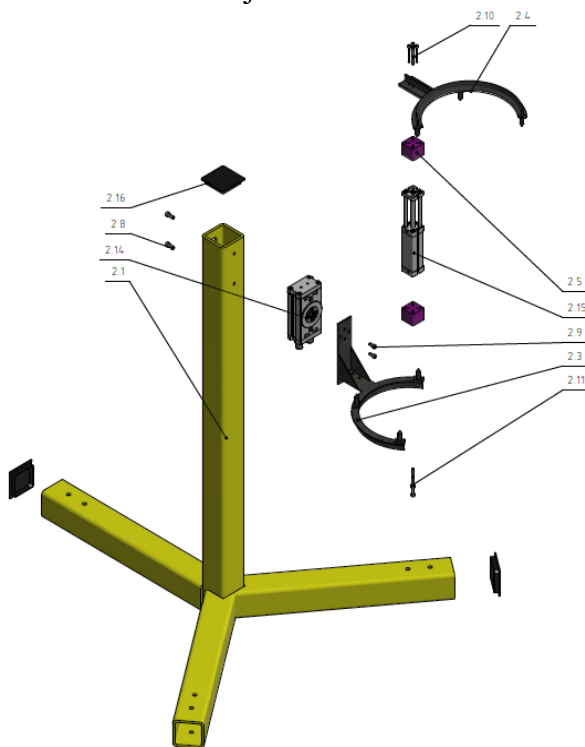
9 KONSTRUKČNÍ NÁVRHY

9.1 Konstrukční návrh otočného stojanu

Otočný stojan byl zkonstruován na základě požadavku na co nejvyšší přesnost uložení a otočení. Kdyby nebyla zajištěna přesnost uložení a otočení, nastávala by situace, že by statory nebyly opracovány ve stejné kvalitě. Jelikož se jedná o odlitek, nelze považovat všechny plochy za dostatečně přesné. Jako přesná místa na statoru lze považovat pouze otvory na čelech určené pro montáž přírub elektromotoru. Proto byla navržena koncepce otočného stojanu, která uchopuje stator pomocí středících trnů přímo za tyto otvory.

Rám (2.1) otočného stojanu (2) je vytvořen jako svařenec ocelových jeleků o rozměrech 70x70x6mm. K rámu (2.1) je přišroubován dvěma šrouby M6 (2.8) pneumatický kyvný pohon **DRRD-25** (2.14) od firmy Festo. [45] Na přírubovou hřídel kyvného pohonu (2.14) je přišroubována dvěma šrouby M5 (2.9) spodní čelist (2.3). Na spodní čelist (2.3) je přes vymezovací podložky (2.5) přišroubován dvěma šrouby M4 (2.11) pneumatický píst **ADNGF** (2.15) s průměrem pístu 20 mm a zdvihem 80 mm, a horní čelist (2.4) otočného stojanu (2). [45] Funkce pneumatického pístu (2.15) spočívá v otevírání a zavírání čelistí (2.3; 2.4). Rám (2.1) je pro zajištění stability a pozice v robotické buňce vybaven otvory pro ukotvení k podlaze.

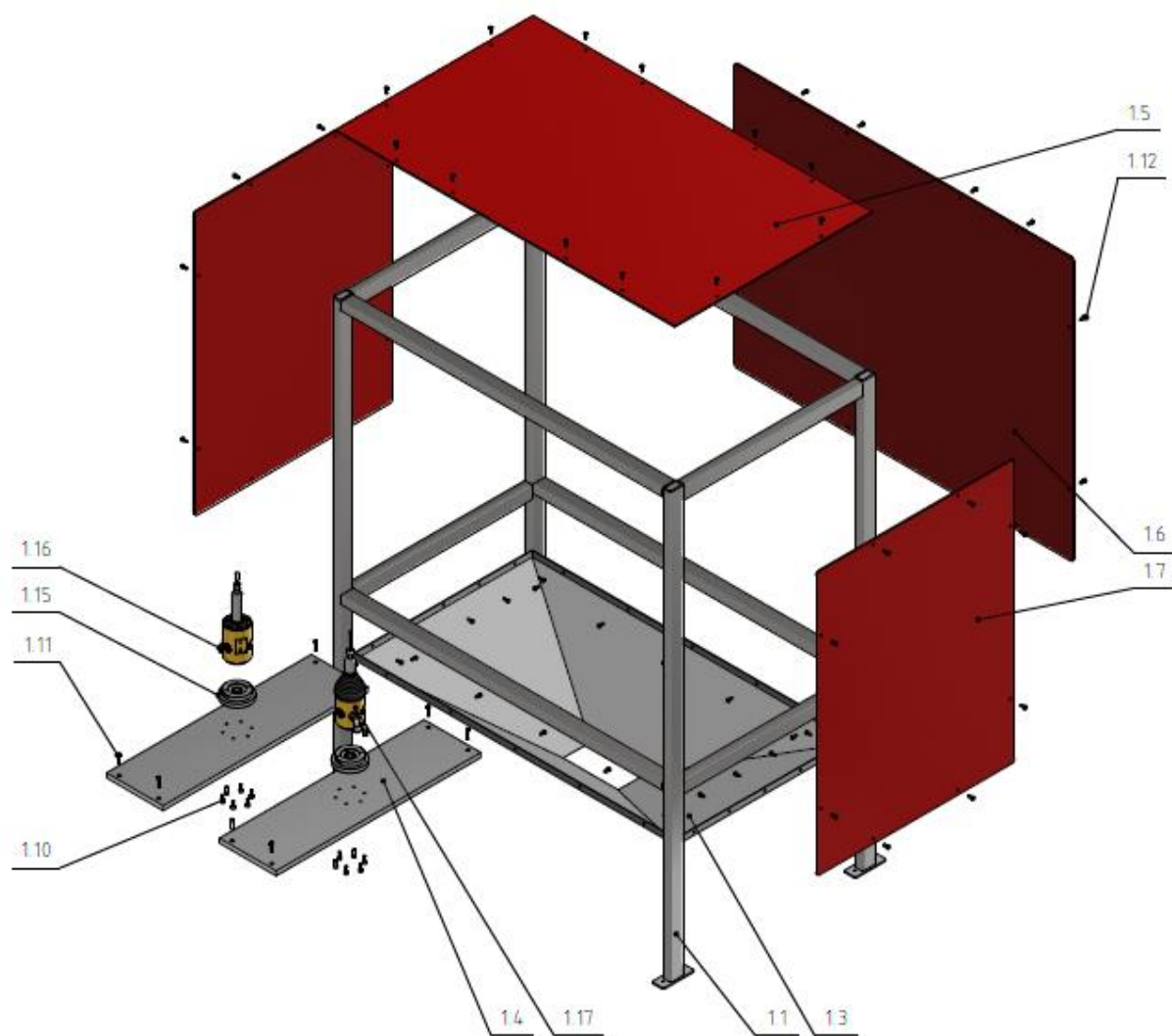
Ukládání statorů do otočného stojanu spočívá v tom, že robot přiveze stator ke stojanu a vodorovně lineárním pohybem zaveze stator mezi čelisti. Po najetí mezi čelisti sjede se statorem směrem dolů a nasune stator na středící trny. Následně se začne zavírat horní čelist a tím se stator upne do otočného stojanu. Robot koncovým efektozem pustí stator a odjíždí svisle vzhůru kde čeká, než otočný stojan provede otočení statoru. Po úspěšném otočení robot sjíždí a pomocí koncového efektozu uchopuje otočený stator. Po uchopení se čelisti otočného stojanu, robot vysouvá stator ze středících trnů a odjíždí mimo čelisti.



Obr. 39) Otočný stojan (rozložený)

9.2 Konstrukční návrh frézovacího stůl

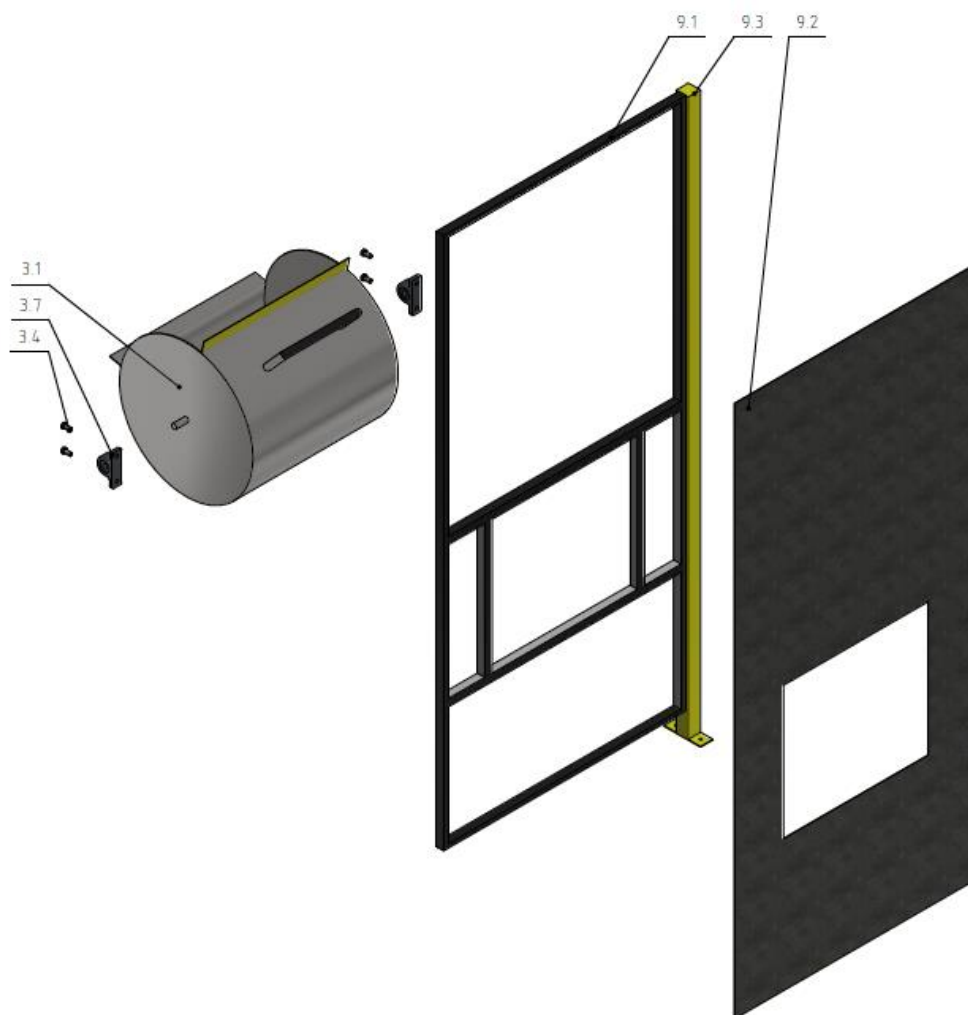
Frézovací stůl (1) s rozměry 1208x1508x790mm je vyroben jako svařenec z jeklů (50x30x5). Cílem vytvořit frézovací stůl jako svařenec bylo vyrobit tuhý rám (1.1) pro odjehlovací vřetena (1.16; 1.17). Odjehlovací vřetena (1.16; 1.17) jsou upnuta do půlené příruby (1.15), příruba (1.15) je následně přišroubena šesti šrouby M6 (1.10) k desce stolu (1.4). Desky stolu (1.4) jsou dále připevněny pomocí čtyř šroubů M5 (1.11) k rámu (1.1) frézovacího stolu (1). Pro zabránění odletu ostrých a horkých třísek mimo pracovní prostor je pracovní prostor krytý ze tří stran plexisklem (1.5; 1.6; 1.7). Třísky odletující při procesu jsou zastavovány plexisklem (1.5; 1.6; 1.7) a následně padají dolů. Při pádu jsou usměrňovány pomocí skluzu (1.3) do předem nachystaného kontejneru. Skluz (1.3) a plexiskla (1.5; 1.6; 1.7) jsou přišroubena k rámu (1.1) samořeznými šrouby (1.12). Zachycování třísek a následné svádění do kontejneru zajišťuje čistotu na pracovišti a tím je předcházeno vzniku nebezpečných situací.



Obr. 40) Frézovací stůl (rozložený)

9.3 Kontrolní box

Kontrolní box (3) byl navržen tak, aby při jeho otevření bylo zamezeno vstupu vniknutí jakékoliv části těla do pracovního prostoru a tím bylo zabráněno vzniku nebezpečným situacím. Kontrolní box (3) je navržen jako otočný buben. Buben (3.1) kontrolního boxu (3) je navržen jako svařenec z plechu o tloušťce 2 mm. Z boku bubnu (3.1) jsou přivařeny hřídele o průměru 20 mm. Na tyto hřídele jsou nasunuty ložiskové domky UCP204 (3.7), které nám zajišťují plynulý pohyb bubnu (3.1). Ložiskové domky (3.7) jsou přišroubovány šrouby M12 (3.4) do rámu oplocení (9.1).



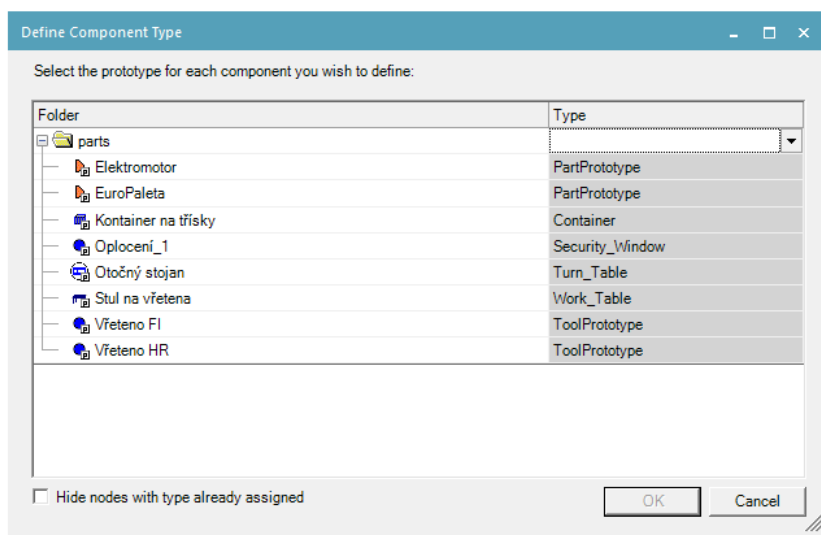
Obr. 41) Kontrolní box (rozložený)

10 VYTVOŘENÍ SIMULAČNÍHO MODELU

Než vůbec začneme pracovat v programu Process Simulate je důležité si předchystat součásti, se kterými budeme pracovat. V 3D programu jako je Inventor, SolidWorks nebo jiné, si vytvoříme součásti, které následně uložíme ve formátu (.jt). Takovýto soubor je posléze nutný přesunout do složky, která obsahuje název součásti a koncovku (.cojt). Do této složky pak budou ukládány všechny nastavení součásti. Tímto jsme si přichystali všechny potřebné součásti, a můžou být vloženy do složky libraries ve složce Siemens.

10.1 Definování komponent

Než je vůbec možné přidat součást nebo stroj do pracovního prostředí (Graphic Viewer), je před tím nutné definovat jeho typ. Typ součásti definujeme pomocí funkce „Define Component Type“ v záložce „Modeling“ a sekci „Components“. Po jejím rozkliknutí se nám otevře okno, ve kterém vybereme složku obsahující součásti, které následně budou vloženy do pracovního prostředí.



Obr. 42) Definování komponent Process Simulate

Po nastavení typů součástí, nám je Process Simulate umožní vložit do pracovního prostředí pomocí funkce „Insert Component“ v záložce Modeling a sekci „Components“.

10.2 Vytvoření souřadnicových systémů

Souřadnicové systémy nám pomáhají s orientací a naváděním robotů v pracovním prostoru. Rozlišujeme několik základních souřadnicových systémů. Nejpoužívanějším souřadnicovým systémem je Word (Kartézský souřadnicový systém). Souřadnicový systém Base se vztahuje vůči patě robotu, Tool vztahující se ke středu nástroje a Wobj určující umístění v buňce.

Pro vytvoření kinematiky musí být součást přepnuta do modelovacího režimu pomocí funkce „Set Modeling Scope“ v záložce „Modeling“ a sekci „Scope“. Souřadnicové systémy lze vytvořit pomocí funkce „Create Frame“ v záložce „Modeling“ a sekci „Layout“. Vytvořené

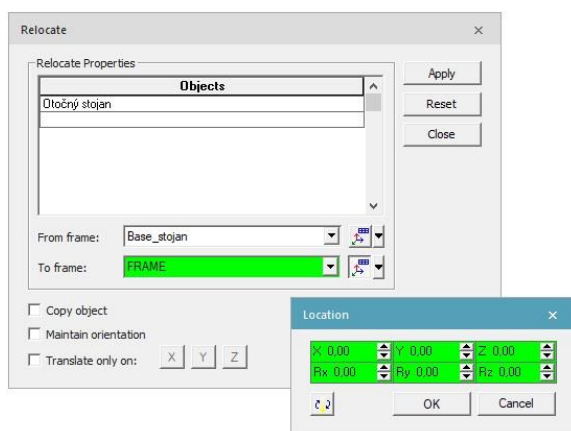
souřadnicové systémy po vypnutí modelovacího režimu jsou vypnuty. Pro zobrazení je třeba zapnout funkci „Set Objects to be Preserved“ v záložce „Modeling“ a sekci „Entity Level“.

10.3 Rozmístění prvků v buňce

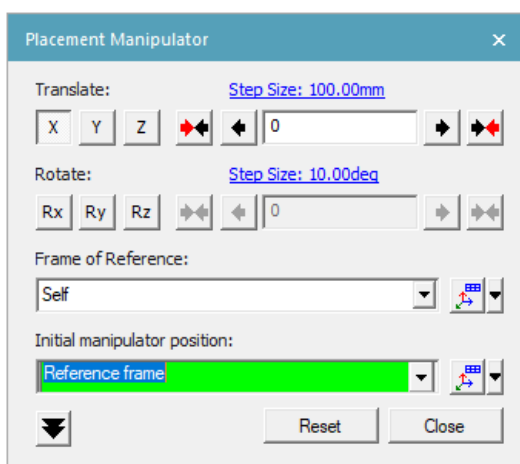
Jakmile jsou součásti robotické buňky umístěny v pracovním prostředí lze je přemístit na požadovanou pozici pomocí funkcí „Relocate“ a „Placement Manipulator“, které se nachází na liště pracovního prostředí.

Funkce „Relocate“ nám umožňuje přesunout komponentu na přesné místo pomocí dvou bodů. První bod vložený do kolonky „From frame“ určuje, ke kterému je komponenta vztažena. Druhý bod vložený do kolonky „To frame“ určuje místo, do kterého se První bod přesune.

Funkce „Placement Manipulator“ umožňuje pohybovat s komponentou vzhledem ke stávající pozici.



Obr. 43) Okno funkce Relocate

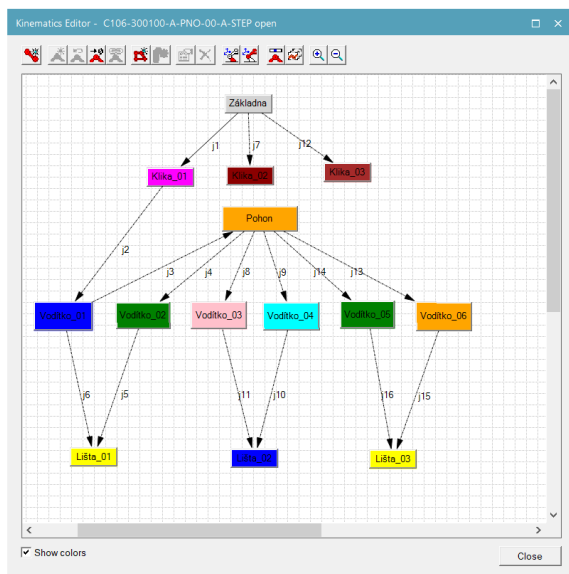


Obr. 44) Funkce Placement Manipulator

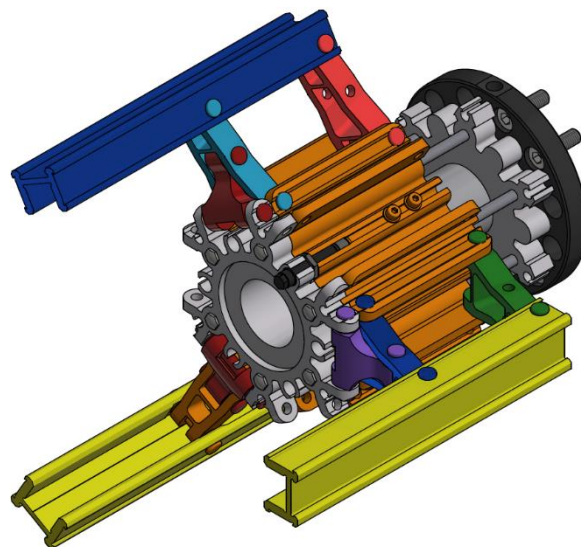
10.4 Definování kinematiky

Kinematika musí být vytvořená u všech vložených částí, u kterých je vyžadován pohyb (otvírání/zavírání čelistí, rotace dílů kolem osy atd.). V buňce byla kinematika vytvořena k robotu, otočnému stojanu, kontrolnímu boxu a koncovému efektoru. Pro vytvoření musí být součást přepnuta do modelovacího režimu **viz. kapitola 10.2**. Kinematika se vytváří pomocí funkce „Kinematics Editor“ v záložce „Modeling“ a sekci „Kinematic Device“. V prostředí „Kinematics Editor“ definujeme jednotlivé části zařízení, která se mají pohybovat. Propojením částí pomocí funkce „Create Join“ je získávána vazba definující pohyb mezi jednotlivými částmi. Vlastnosti vazby lze změnit v „Joint Properties“, kde se definuje, zda se jedná o translační nebo rotační pohyb, rozsah pohybů a rychlost pohybů. Další důležitou funkcí je „Joint Dependency“, kde lze popsat funkci pohyb v závislosti na pohybu druhém.

Jestliže je kinematika definována, lze si předefinovat jednotlivé stavy např.: Otevřeno/zavřeno pomocí funkce „Pose Editor“



Obr. 45) Schéma kinematických vazeb koncového efektoru



Obr. 46) Barevné rozlišení jednotlivých částí koncového efektoru

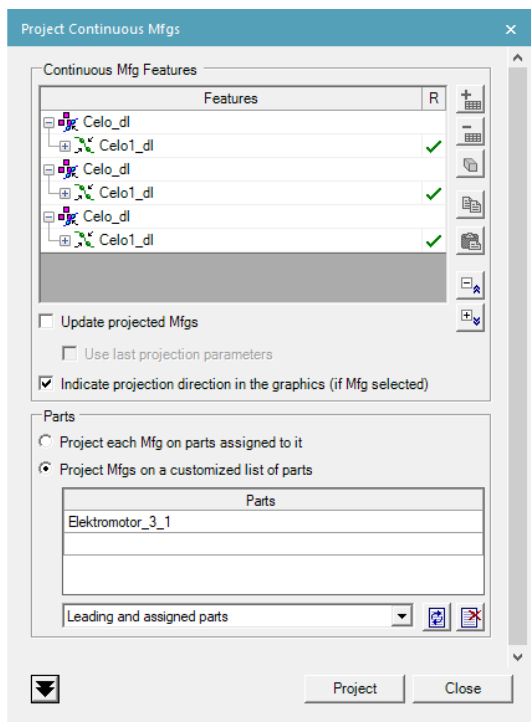
10.5 Vytvoření operací

Process Simulate nám nabízí několik základních operací, které lze provést. Základní operací, kterou lze pomocí robota provést je operace „Pick and Place“. Tato operace spočívá v uchopení dílu robotem a přemístění a odložení na jiné místo. Další operací, kterou lze provádět pomocí robota je „Weld Operation“ a „Continuous Feature Operation“, oběma operacemi se pohybuje robot po předem vytvořené křivce. Vytvořit pohybovou operaci lze také u dalších zařízení, a to přes funkci „New Device Operation“. Operace reprezentující volný pohyb objektů (např.: pohyb dílu po pásovém dopravníku) zastupuje funkce „Object Flow Operation“. Pro plynulejší pohyb robota je někdy potřeba doplnit základní operace průjezdnými body. Vytvoření dodatečných průjezdných bodů lze pomocí funkcí „Add Location Before“, tím se přidá další bod před námi vybraným bodem operace. „Add Location After“, přidá další bod za námi vybraným bodem operace. „Add Current Location“, vytvoří bod na současnou pozici natočením robota. „Add Location By Pick“, umožňuje vytvořit bod na trajektorii mezi dvěma průjezdnými body. Všechny tyto funkce najdeme v záložce „Operation“ v sekci „Add Location“.

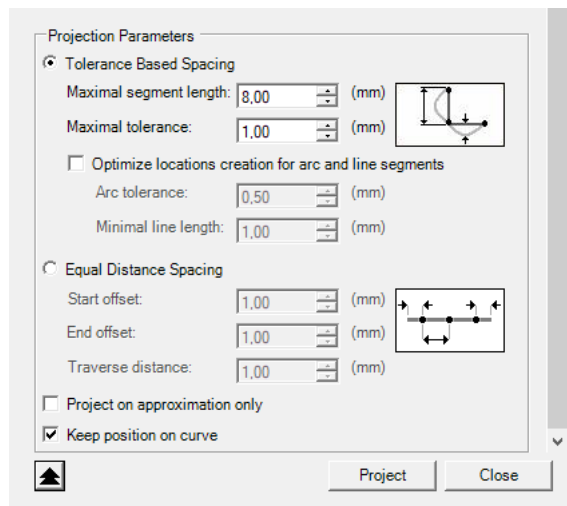
10.6 Vytvoření tras pro obrábění dílů.

Pro použití funkce „New Continuous Feature Operation“ je potřeba na požadované součásti vytvořit křivky. Křivky lze vytvořit v modelovacím režimu součásti viz. kapitola 10.2 pomocí funkce „Curves“ v záložce „Modeling“ v sekci „Geometry“. Po vytvoření křivek na součásti lze převést na Mfg křivky, to lze provést přes funkci „Create Continuous Mfgs from Curves“ v záložce „Process“ v sekci „Continuous“. Takto předpřipravené křivky je potřeba převést na množinu průjezdných bodů, které bude robot sledovat. To je docíleno funkcí „Project

Continuous Mfgs“ v záložce „Process“ v sekci „Continuous“. Zde je nutné nastavit jakému dílu tato křivka bude náležet. Po rozevření doplňující nabídky lze nastavit i vzdálenosti jednotlivých vytvořených bodů od křivky Mfg. Poté lze zavolat funkci „New Continuous Feature Operation“ která nám vytvoří pohybovou operaci pro robot.



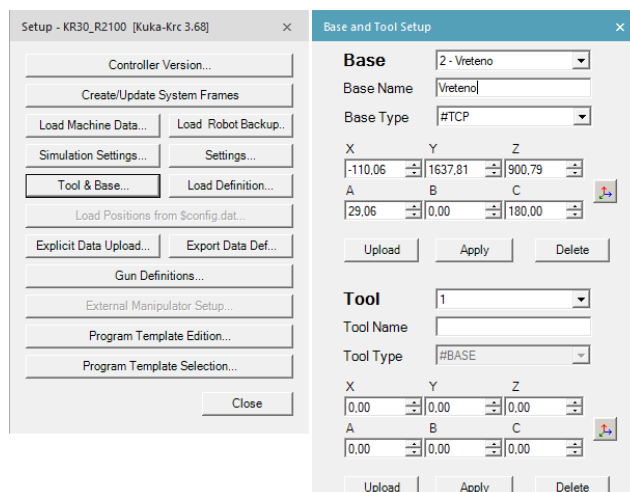
Obr. 47) Funkce Project Continuous Mfgs



Obr. 48) Rozšířená nabídka funkce Project Continuous Mfgs

10.7 Vytvoření TCP

Při výměně nástrojů, anebo v obrábění na statickém vřetenu je třeba vytvořit TCP frame jednotlivých chapadel, nebo nástrojů. Jejich nastavení lze provést funkcí „Robot Setup“ v záložce „Robot“ v sekci „Setup“. Po rozkliknutí funkce „Robot Setup“ se objeví nabídka, ve které vybereme „Tool and Base...“. V „Base and Tool Setup“ nastavíme pořadí, název a orientaci souřadného systému. Tento souřadný systém se musí shodovat s realitou.



Obr. 49) Funkce Base and Tool Setup

10.8 Path editor

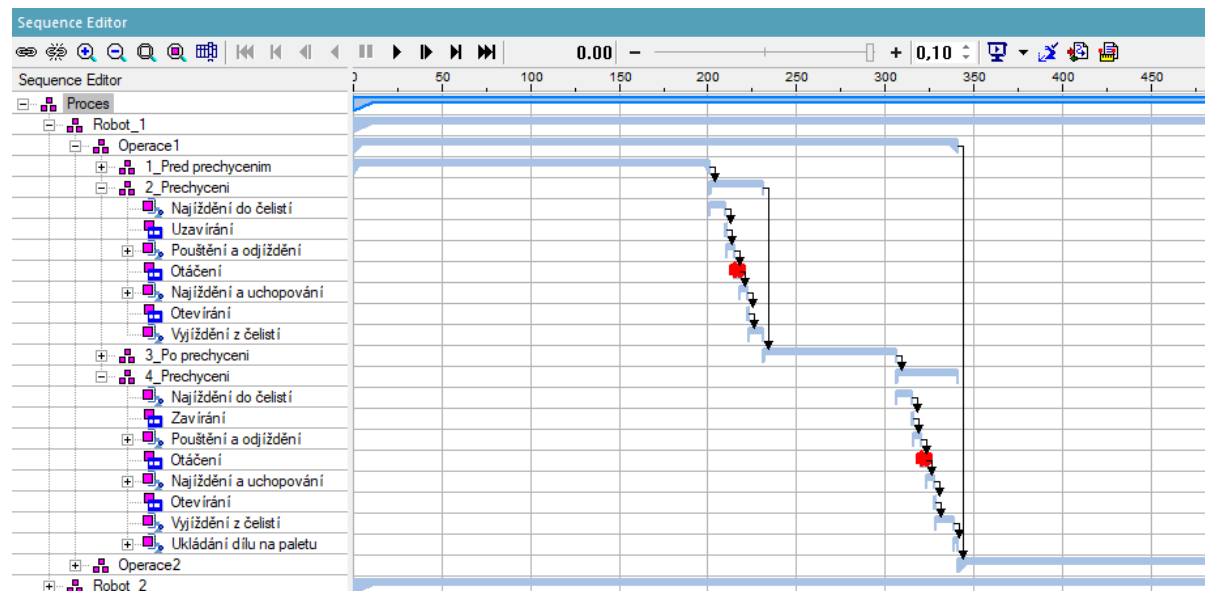
Path editor je důležitou součástí Process Simulate, ve kterém probíhá hlavní doladování vytvořených operací. V Path Editoru lze měnit mnoho parametrů, například souřadnice a natočení vytvořených bodů a trajektorie a rychlost pohybů, dále lze definovat, zda robot bude najíždět z bodu do bodu nejrychlejší možnou cestou (PTP), lineárně (LIN), nebo po kružnici (CIRC). Při obrábění na staticky připevněných vřetenech je potřeba změnit v Path Editoru Base Nr. Z 0-WordFrame na 2-(Rtcp) – Vřeteno, tím docílíme pohybování robotu s dílem okolo přednastaveného TCP **viz. kapitola 10.7.**

Path Editor										0.00 - + 0.10									
Paths & Locations																			
	Att...	X	Y	Z	RX	RY	RZ	Duration	OLP Commands	Robot	Conf...	Seam ...	Base Nr	Motion	Speed	Zone			
Robot_1								671.88											
Operate1								341.30											
1_Pred prechycinim								201.31											
KR30_R2100_PNF								13.36											
via7		-1762.76	1157.13	1154.00	180.00	-0.00	-73.00	0.04			✓		0 - WorldF...	PTP	100 %	fine			
via20		-1206.79	910.94	1154.01	180.00	0.00	28.68	2.46			✓		0 - WorldF...	PTP	100 %	C_DIS 50			
via3		-707.53	1097.00	930.24	180.00	-0.00	130.00	2.31			✓		0 - WorldF...	PTP	100 %	fine			
via2		-707.58	1097.02	680.24	180.00	-0.00	130.00	2.60	# Destination C106-300100-4		✓		0 - WorldF...	LIN	0.1 m/s	fine			
via3		-707.53	1096.97	980.24	180.00	0.00	130.00	3.10			✓		0 - WorldF...	LIN	0.1 m/s	fine			
via29		-1566.41	926.96	1062.10	180.00	0.00	7.64	2.82			✓		0 - WorldF...	PTP	100 %	fine			
BOK_1								28.10											
Bok1_op								28.10											
Bok1_Is1	●	-583.01	1102.18	783.95	-100.39	89.99	-100.39	17.36					2.02	2 (Rtcp) - ...	LIN	0.05 m/s	fine		
Bok1_Is2	●	-582.46	1101.92	781.45	-100.15	89.99	-100.74	0.10					2.02	2 (Rtcp) - ...	LIN	0.05 m/s	fine		
Bok1_Is3	●	-579.19	1102.23	780.79	23.76	84.30	26.18	0.12					-0.00	2 (Rtcp) - ...	LIN	0.05 m/s	fine		
Bok1_Is4	●	-579.19	1102.23	780.31	71.50	89.99	73.82	0.04					-0.00	2 (Rtcp) - ...	LIN	0.05 m/s	fine		

Obr. 50) Path editor

10.9 Provázání operací v Sequence Editoru

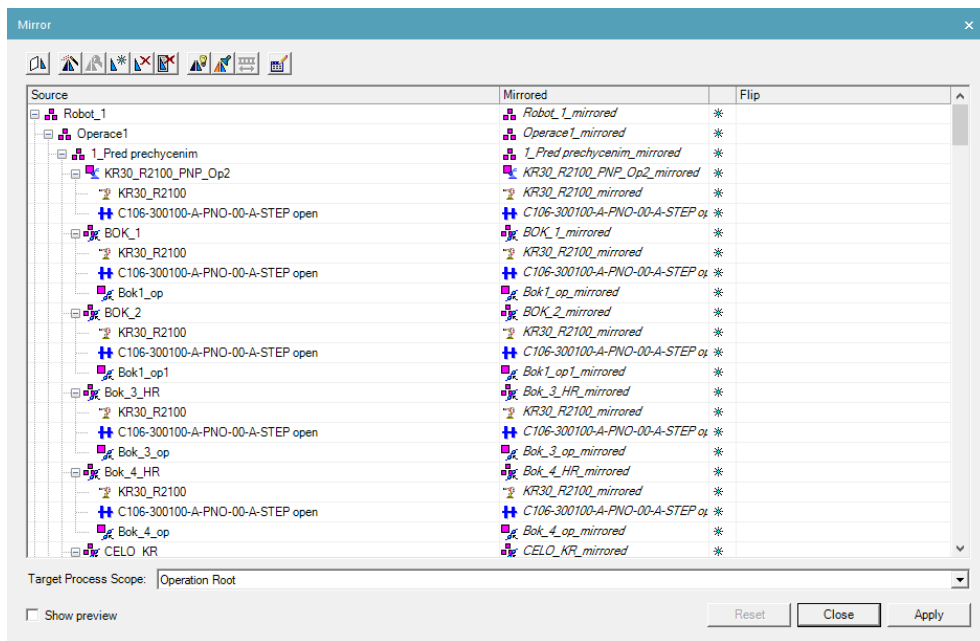
Sequence Editor nám umožňuje vytvořit hierarchii operací, jak jdou za sebou, nebo jak na sebe navazují. V Sequence Editoru lze také nastavovat jednotlivé přichycení dílu k jinému prvku. V našem případě byla tato funkce využita při otáčení statoru v otočném stojanu (2). Jelikož se pracovní zóny robotů nikde neprotínají, mohou roboty pracovat na sobě nezávisle.



Obr. 51) Sequence Editor

10.10 Zrcadlení operací

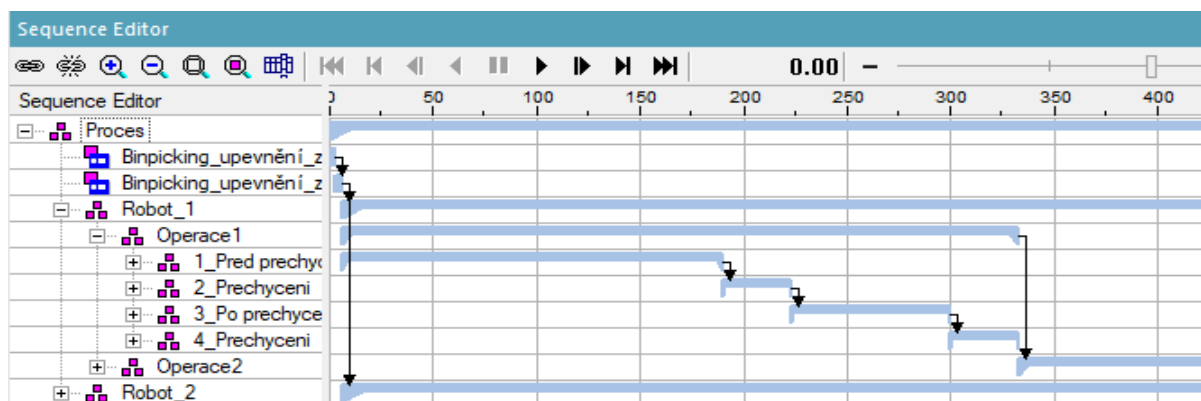
Robotická buňka pro dokončovací operace na statorech elektromotorů se skládá ze dvou robotů, kteří vykonávají stejný pracovní postup nezávisle na sobě s vlastními periferiemi. Proto bylo v tomto případě vhodné vytvořit operace pro jeden robot a následně využít funkce „Mirror“, v záložce „Operation“ v sekci „Edit Path“. Tato funkce nám umožní vytvořit kopie všech operací, zařízení, materiálů a souřadnicových systémů využívaných v přenášené operaci. Zrcadlení je prováděno přes rovinu, kterou lze libovolně pohybovat a natáčet dle potřeby.



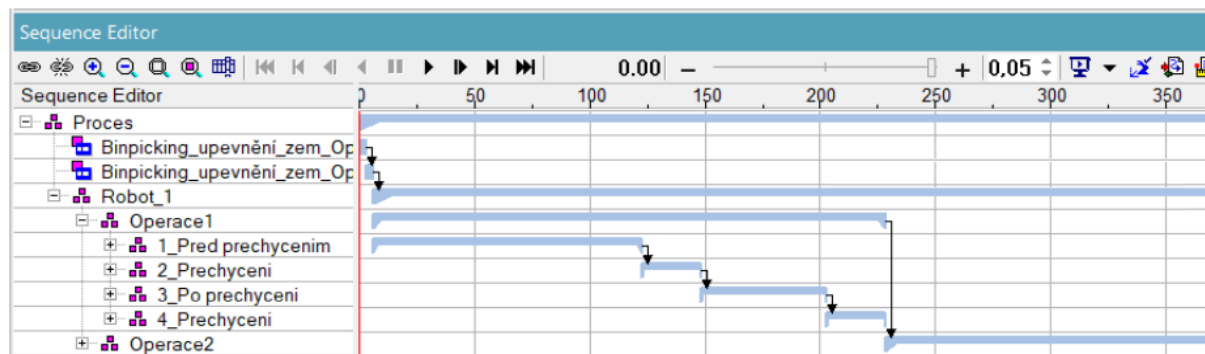
Obr. 52) Funkce Mirror

11 SIMULAČNÍ ZHODNOCENÍ

Vytvořením simulačního modelu byla ověřena správná funkčnost a plynulá návaznost jednotlivých operací bez vzájemných kolizí. Ze simulace nám vychází, že doba potřebná na obrobení jednoho statoru elektromotoru na jenom robotu je zhruba 5,4 minut. Avšak tuto hodnotu nelze považovat za reálnou. Proto musí být simulace otestována s RCS modulem, který vnese do simulace reálnou dynamiku a odezvu na signály. Po aplikaci RCS modulu byl takt na opracování jednoho statoru jedním robotem 3,7 minuty. Celkový takt robotizovaného pracoviště, tj. při práci dvou robotů zároveň je 1,85 minut na jeden stator elektromotoru. Tímto byla splněna vstupní podmínka na dobu opracování jednoho statoru.



Obr. 54) Sequence editor bez RCS modulu



Obr. 53) Sequence editor s RCS modulem

Při porovnání časů s a bez použití RCS modulu byl rozdíl zhruba 104 sekund. V tabulce (tab. 13) jsou rozepsány jednotlivé časy operací bez a s RCS modulem pro lepší srovnání.

Tab. 13) Časy jednotlivých operací s a bez RCS modulu.

Název operace	Bez RCS modulu [sek]	S RCS modulem [sek]
1_Před přechycením	184	117,01
2_Přechycení	32	25,52
3_Po přechycení	76	54,67
4_Přechycení	33,59	25,43
Celkem	326,79	222,51

12 TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Pro navržené robotizované pracoviště bylo v poslední části vytvořeno technicko - ekonomické zhodnocení. Zde se budeme zabývat finančními náklady spojenými s realizací pracoviště. Technicko - ekonomické zhodnocení bylo rozpracováno ve třech tabulkách. První tabulka **Tab.(14)**, znázorňuje cenu jednotlivých nakupovaných komponent. Druhá tabulka **Tab.(15)**, představuje cenu za použitý materiál na výrobu kontrolního boxu, frézovacího stolu a otočného stojanu. V poslední tabulce **Tab.(16)** byl vytvořen hrubý odhad nákladů spojených s realizací pracoviště. Všechny náklady jsou spojeny v **Tab.(17)**, kde byl navíc přidán i zisk firmy realizující pracoviště.

Tab. 14) Rozpis jednotlivých nákladů za nakupované komponenty

Název	Prodejce	Počet kusů	Cena za 1 kus v Kč	Celková cena v Kč
Robot KR 30 R2100 + KR4	Kuka	2	1 220 000	2 440 000
Koncový efektor C06/A/100	GMG	1	68 716	68 716
3D kamera Ranger-D40213	Sick	1	57 106	57 106
Bin picking	Blumenbecker	1	730 000	730 000
Rolovací vrata	Efaflex	1	135 563	135 563
Vřeteno RS 340	Schunk	2	145 762	291 524
Vřeteno RC 300	Schunk	2	136 647	273 294
Kyvný pohon DRRD-25	Festo	2	20 975	41 950
Pneumatický píst ADNGF	Festo	2	2 652	5 304
Oplocení	Alváris	1	136 539	136 539
Ložiskový domek SKF SY 20 TF	ARKOV s.r.o.	2	654	1 308
Rozvod pneumatiky, úpravna, ventily	Festo	1	126 400	126 400
El. rozvaděč, PLC, HMI	Siemens	1	276 300	276 300
Celkem				4 584 004

Na základě rozměrů jednotlivých polotovarů, které byly pro výrobu použity a ceníku z internetového obchodu Kondor s.r.o., byla vypočítána přibližná cena za materiál. Do této ceny dále není zahrnuta cena za dělení materiálu a za přebytky vzniklé při výrobě součástí.

Tab. 15) Náklady za materiál na stavbu částí robotizovaného pracoviště

Název	Počet kusů	Odhadovaná cena za 1 kus v Kč	Celková cena v Kč
Kontrolní box	2	727	1454
Frézovací stůl	2	6315	12630
Otočný stojan	2	1180	2360
Celkem			16444

Tab. 16) Odhad ceny za práci při realizaci pracoviště

Typ práce	Dny	Hodiny	Sazba Kč/hod	Cena celkem [Kč]
Návrh strojní konstrukce	14	112	1300	145 600
Návrh elektro projekce	8	64	1300	83 200
Návrh simulace	10	80	1400	112 000
Vytvoření technické dokumentace a manuálu k obsluze	10	80	1000	80 000
Montáž strojní a elektro	20	160	900	144 000
Programování PLC	10	80	130	104 000
Odlaďování robotu	5	40	1400	56 000
Zaškolení obsluhy	3	24	1200	28 800
Celkem				753 600

Tab. 17) Celkové náklady a návratnost investice

Položka	Celková cena [Kč]
Cena nakupovaných částí	4 584 004
Cena za materiál	16 444
Cena za práci	753 600
Zisk firmy	856 648
Celkem	6 210 695

Po připočítání ceny za práci spojenou s realizací buňky dostáváme hodnotu 5 354 047,- Kč. K této ceně je ale dále potřeba připočíst zisk firmy zajišťující realizaci buňky. Zisk v tomto případě bude dosahovat 16 % z nákladů spojených s realizací buňky. Finální cena pro zákazníka tedy bude 6 210 695,- Kč. Odhad ceny na realizaci by měl být co nejvíce realistický, protože je pro zákazníka velice důležitý. Zákazník se v závislosti na velikosti investice může a nemusí rozhodnout pro uskutečnění realizaci pracoviště.

Návratnost robotizovaného pracoviště zjistíme, když stanovíme dobu opracování jednoho statoru elektromotoru opracovávaného manuálně lidmi tj. cca 3 minuty, z této doby jsme schopni jednoduše určit počet statorů obrobených za rok. Pracoviště s lidskou obsluhou je schopno vyprodukovat 175 200 kusů za rok při nepřetržitém provozu. Robotizované pracoviště se dvěma roboty je schopno opracovat jeden stator za 1,85 minuty. Ročně při nepřetržitém provozu je schopno vyprodukovat až 284 108 kusů. Když budeme uvažovat, že z každého hotového statoru pro firmu přichází čistý zisk 20 korun, vyjde nám návratnost robotizovaného pracoviště na necelé tři roky. [3]

Z výpočtů bylo zjištěno, že nahrazením pracoviště obsluhovaném lidmi za pracoviště obsluhované roboty, dosáhneme zvýšení produkce o 62 %. Na základě této hodnoty lze říci, že robotizované pracoviště je cenově výhodnější než pracoviště s lidskou obsluhou, a to i přes výrazně vyšší pořizovací náklady. Dalším přínosem robotizovaného pracoviště je zvýšení a stálost kvality opracování jednotlivých dílů a zlepšení pracovní úrovně zaměstnanců.

13 ZÁVĚR A DOPORUČENÍ PRO PRAXI

Diplomová práce byla zaměřena na vytvoření funkčního layoutu robotizovaného pracoviště a všech jeho komponent, což je zde podrobně popsáno. Funkčnost a reálný takt tohoto pracoviště byl následně ověřen v softwaru Process Simulate od firmy Siemens. Pro zvýšení bezpečnosti obsluhy byla vytvořena analýza rizik, díky které se následně zavedla dodatečná opatření, která podstatně zvýšila bezpečnost pracoviště. Na závěr bylo vytvořeno ekonomické zhodnocení, kde byla stanovena cena robotické buňky a předpokládaný zisk oproti pracovišti s lidskou obsluhou.

V první části diplomové práce byl vytvořen stručný přehled sériově vyráběných robotů, který současný trh nabízí a ty byly rozčleněny podle jednotlivých kritérií.

V druhé části byly vytvořeny tři rozdílné funkční varianty, které obsahují dva roboty KR30 R2100. U všech variant bylo provedeno hodnocení výhod a nevýhod. Na základě tohoto hodnocení byla z těchto tří variant následně vybrána ta nejvhodnější. Ve variantě jedna jsou zaváženy čtyři palety, dvě plné a dvě prázdné do pracovního prostoru paletizačním vozíkem skrze rolovací vrata. Palety jsou umístěny do prostoru mezi roboty. Ve druhé variantě prochází buňkou válečkový dopravník, který přiváží do pracovního prostoru palety s neopracovaným statory. Ty jsou po opracování kladeny na druhou paletu a po opracování všech statůrů je paleta na válečkovém dopravníku odvážena z pracovního prostoru. Varianta tři je založena na třech dopravnících. Obsluha vyrovnává statory z palety na dopravník, ze kterého jsou následně odebírány robotem k opracování. Po opracování robot statory ukládá na další dopravník, který je odváží z pracovního prostoru k obsluze, která statory odebírá a ukládá na prázdnou paletu.

Vzhledem ke kompaktnímu provedení a nižší odhadované pořizovací ceně oproti zbylým variantám byla vybrána varianta č. jedna. Pro tuto variantu byly vybrány a navrženy jednotlivé komponenty, např. roboty, koncový efektor, odjehlovací vřetena, otočný stojan, frézovací stůl a oplocení pracoviště. Byla vytvořena analýza rizik, díky které se následně zavedla dodatečná opatření, která podstatně zvýšila bezpečnost pracoviště.

V dalším kroku byly vytvořeny modely jednotlivých komponent, které byly následně nahrány do prostředí programu Process Simulate. V programu Process Simulate byla vytvořena simulace, kterou byla ověřena funkčnost zvolené varianty. Použitím RCS modulu byl zjištěn reálný takt. Takt robotizovaného pracoviště vyšel na 1,85 minuty/kus. Při teoretickém nepřetržitém provozu je možné dosáhnout výrobnosti až 284 108 kusů ročně, čímž tato robotická buňka splňuje zadání. Tento výsledek je nezávislý na volbě typu vřetena, při testovacím provozu může být zjištěno, že nasazená vřetena jsou nevhodná a bude nutné nasadit výkonnější vřeteno. V opačném případě může být zjištěno, že by dostačovala vřetena o nižším výkonu, a nebo by mohla být použita stávající vřetena a aktuální rychlost robotu 0,05 m/s by byla zvýšena, čímž by bylo dosaženo dalšího snížení času na opracování a zvýšení produktivity pracoviště.

Poslední část mé diplomové práce se zabývá technicko - ekonomickou bilancí, pomocí které byla stanovena teoretická cena robotické buňky na 6 210 695,- Kč. Tato cena byla vypočtená z pořizovacích nákladů za jednotlivé komponenty buňky a nákladů na práci. Dále bylo dokázáno, že robotizované pracoviště je i přes vyšší pořizovací náklady pro firmy perspektivnější než klasické pracoviště obsluhované lidmi, a to nejen skrze vyšší výrobnost a s tím spojený vyšší zisk, ale také i z hlediska stálosti kvality zpracování.

V diplomové práci se nezabývám návrhem pneumatického a elektrického obvodu, které je nezbytné pro funkci robotizovaného pracoviště. Cílem dalšího zkoumání může být i další optimalizace časů buňky, a následné snižování doby na opracování statoru.

14 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] BLECHA, Petr. *Management technických rizik u výrobních strojů*. Brno: VUTIMUM, 2010. Vědecké spisy Vysokého učení technického v Brně. Habilitační a inaugurační spisy. ISBN 978-80-214-4062-3.
- [2] LEINVEBER, Jan, Jaroslav ŘASA a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky*. 3., dopl. vyd., dot. Praha: Scientia, 1999. ISBN 80-7183-164-6.
- [3] BORSKÝ, Václav. *Jednoúčelové obráběcí stroje*. 2. přeprac. vyd. Brno: Vysoké učení technické, 1989. Díl 1.. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-214-0031-5. Dostupné také z: <http://www.digitalniknihovna.cz/mzk/uuid/uuid:7742dc90-3d52-11e3-9c86-005056827e51>
- [4] ČSN EN ISO 10218-1 (186502) A Roboty a robotická zařízení - Požadavky na bezpečnost průmyslových robotů. 1. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012. Dostupné také z: <http://csnonline.agentura-cas.cz/>
- [5] ČSN EN ISO 12100-1 (833001) N Bezpečnost strojních zařízení - Základní pojmy, všeobecné zásady pro konstrukci. Praha: Český normalizační institut, 2004. Dostupné také z: <http://csnonline.agentura-cas.cz/>
- [6] ČSN EN ISO 13857 (833212) A Bezpečnost strojních zařízení - Bezpečné vzdálenosti k zamezení dosahu do nebezpečných prostor horními a dolními končetinami. Praha: Český normalizační institut, 2008. Dostupné také z: <http://csnonline.agentura-cas.cz/>
- [7] ČSN EN ISO 14121-1 (833010) N Bezpečnost strojních zařízení - Posouzení rizika. Praha: Český normalizační institut, 2008. Dostupné také z: <http://csnonline.agentura-cas.cz/>
- [8] MAŘÍK, Vladimír. *Národní iniciativa Průmysl 4.0*. [s.l.]: Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR, 2015. 42 s.
- [9] Od 1. průmyslové revoluce ke 4. *Technický deník* [online]. Praha: Sabre, 2015 [cit. 2020-06-11]. Dostupné z: https://www.technickytydenik.cz/rubriky/ekonomika-byznys/od-1-prumyslove-revoluce-ke-4_31001.html
- [10] Dalibor Cába. *Mechatronické systémy* [Internet]. [Ostrava (Czechia)]: Bosch Rexroth;[2015] [cit. 2020-06-15]. [24 s.] Dostupné z: <https://www.msic.cz/files/350/13%20bosch%20caba.pdf>
- Str 19-20
- [11] Executive Summary World Robotics 2019. In: *IFR International Federation of Robotics* [online]. Frankfurt: Matthias Zillig, 2020, 2019 [cit. 2020-06-15]. Dostupné z: <https://ifr.org/downloads/press2018/Executive%20Summary%20WR%202019%20Industrial%20Robots.pdf>
- [12] Dr. Christopher Müller. *IFR Press Conference* [Internet]. [Shanghai]: International Federation of Robotics IFR: [2019] [cit.2020-06-15]. [32 s.] Dostupné z: <https://ifr.org/downloads/press2018/IFR%20World%20Robotics%20Presentation%20-%202018%20Sept%202019.pdf>
- [13] *Automa - časopis pro automatizační techniku*. Automa, 2016, **2016**(5). ISSN 1210-992.
- [14] Tecnomatix. *Siemens Industry Software* [online]. Granite Parkway: Siemens Industry Software, 2011 [cit. 2020-06-11]. Dostupné z: <https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/products/tecnomatix/>

- [15] Průmyslové roboty: Jaké jsou jejich druhy? *Factory automation* [online]. Praha: MarketUP, 2018, 23.března 2018 [cit. 2020-06-11]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/prumyslove-roboty-jake-jsou-jejich-druhy/>
- [16] What is a Cartesian robot? *Linear Motion Tips* [online]. Cleveland: WTW Media, c2020, 5.October 2018 [cit. 2020-06-11]. Dostupné z: <https://www.linearmotiontips.com/what-is-a-cartesian-robot/>
- [17] Roboty SCARA. *Fanuc* [online]. Praha: FANUC Czech, 2018 [cit. 2020-06-12]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs/roboty/str%C3%A1nka-filtru-robot%C5%AF/scara-series/selection-support>
- [18] SCARA Robot Applications. *Shibaura machine* [online]. Shizuoka: Shibaura Machine, c2020 [cit. 2020-06-15]. Dostupné z: <https://www.shibaura-machine.co.jp/en/product/robot/case/case01.html>
- [19] Dvouramenný robot s programem pro biolaboratoře. *MM Průmyslové spektrum* [online]. Praha: MM publishing, 2014, 18. 11 .2014 [cit. 2020-06-15]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/novinka/dvouramenny-robot-s-programem-pro-biolaboratore.html>
- [20] CSDA10F: Tenci a obratní 15-osí dvouramenní roboti. *Yaskawa* [online]. Praha: Yaskawa Europe, c2020 [cit. 2020-06-12]. Dostupné z: https://www.cz.yaskawa.eu.com/products/robots/handling-mounting/productdetail/product/csda10f_712
- [21] YuMi - IRB 14000. *ABB* [online]. Curych: ABB Asea Brown Boveri, c2020 [cit. 2020-06-15]. Dostupné z: <https://new.abb.com/products/robotics/cs/prumyslove-roboty/yumi>
- [22] Kr 1000 titan. *KUKA* [online]. Augsburg: KUKA CEE, c2020 [cit. 2020-06-15]. Dostupné z: <https://www.kuka.com/cs-cz/produkty,-slu%C5%BEby/robotick%C3%A9-syst%C3%A9my/pr%C5%AFmyslov%C3%A9-roboty/kr-1000-titan>
- [23] Co je to Delta robot a jak funguje? *Factory automation* [online]. Praha: MarketUP, c2014-2020, 15.únor 2019 [cit. 2020-06-12]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/delta-robot-jak-funguje/>
- [24] IRB 360 FlexPicker. *ABB* [online]. Curych: ABB Asea Brown Boveri, c2020 [cit. 2020-06-15]. Dostupné z: <https://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots/irb-360>
- [25] Roboty KUKA pro svařování v ochranné atmosféře. *KUKA* [online]. Augsburg: KUKA CEE, c2020 [cit. 2020-06-15]. Dostupné z: <https://www.kuka.com/cs-cz/odv%C4%Btv%C3%AD/kovopr%C5%AFmysl/roboty-kuka-pro-sva%C5%99ov%C3%A1n%C3%AD-v-ochrann%C3%A9-atmosf%C3%A9r%C5%99e>
- [26] ARC Mate 100 iC/7L. *Fanuc* [online]. Praha: FANUC Czech, 2020 [cit. 2020-06-15]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs/roboty/str%C3%A1nka-filtru-robot%C5%AF/sva%C5%99ov%C3%A1n%C3%AD-elektrick%C3%BDM-obl%C3%BAkem/arcmate-100ic-7l>
- [27] MS80W II: Robotic Spot Welder. *Yaskawa* [online]. Praha: Yaskawa Europe, c2020 [cit. 2020-06-15]. Dostupné z: <https://www.motoman.com/en-us/products/robots/industrial/welding-cutting/ms-series/ms80w-ii>

- [28] Řada FANUC Paint: Pokročilé šestiosé lakování. *Fanuc* [online]. Praha: FANUC Czech, c2020 [cit. 2020-06-15]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs/roboty/str%c3%a1nka-filtru-robot%c5%af/%c5%99ada-paint>
- [29] KR 700 PA. *KUKA* [online]. Augsburg: KUKA CEE, c2020 [cit. 2020-06-15]. Dostupné z: <https://www.kuka.com/cs-cz/produkty,-slu%C5%BEby/robotick%C3%A9-syst%C3%A9my/pr%C5%AFmyslov%C3%A9-roboty/kr-700-pa>
- [30] IRB 760: Velmi rychlý paletizační robot, paletizátor pro celou vrstvu. *ABB* [online]. Curych: ABB Asea Brown Boveri, c2020 [cit. 2020-06-15]. Dostupné z: <https://new.abb.com/products/robotics/cs/prumyslove-roboty/irb-760>
- [31] CR-35iA: Jediný spolupracující robot s užitečným zatížením 35 kg na světě. *Fanuc* [online]. Praha: FANUC Czech, c2020 [cit. 2020-06-15]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs/roboty/str%c3%a1nka-filtru-robot%c5%af/spolupracuj%c3%ad%3%ad-roboty/collaborative-cr35ia>
- [32] KR CYBERTECH. *KUKA* [online]. Augsburg: KUKA CEE, c2020 [cit. 2020-06-15]. Dostupné z: <https://www.kuka.com/cs-cz/produkty,-slu%C5%BEby/robotick%C3%A9-syst%C3%A9my/pr%C5%AFmyslov%C3%A9-roboty/kr%C2%A0cybertech>
- [33] IRB 4600. *ABB* [online]. Curych: ABB Asea Brown Boveri, c2020 [cit. 2020-06-15]. Dostupné z: <https://new.abb.com/products/robotics/cs/prumyslove-roboty/irb-4600>
- [34] KR IONTEC. *KUKA* [online]. Augsburg: KUKA CEE, c2020 [cit. 2020-06-15]. Dostupné z: <https://www.kuka.com/cs-cz/produkty,-slu%C5%BEby/robotick%C3%A9-syst%C3%A9my/pr%C5%AFmyslov%C3%A9-roboty/kr-iontec>
- [35] 3D Machine Vision: Ranger / Ranger E. *SICK* [online]. Waldkirch: SICK, c2020 [cit. 2020-06-15]. Dostupné z: https://www.sick.com/cz/cs/prumyslove-zpracovani-obrazu/3d-machine-vision/ranger/ranger-e50414/p/p165861?ff_data=JmZmX2lkPXAxNjU4NjEmZmZfbWFzdGVySWQ9cDE2NTg2MSZmZl90aXR5ZT1SYW5nZXItRTUwNDE0JmZmX3F1ZXJ5PSZmZl9wb3M9MSZmZl9vcmlnUG9zPTEemZmZfcGFnZT0xJmZmX3BhZ2VTaXplPTI0JmZmX29yaWdQYWdlU2l6ZT0yNCZmZl9zaW1pPTk3LjA=
- [36] Řešení bezpečnosti kolem strojů na klíč. *ALVÁRIS* [online]. Brederis: ALVÁRIS PROFILE SYSTEMS, c2020 [cit. 2020-06-15]. Dostupné z: <https://www.alvaris.eu/cz/ochranna-oploceni/reseni-bezpecnosti-kolem-stroju-na-klic>
- [37] Rychloběžná spirálová vrata EFA-SST® MS. *EFAFLEX* [online]. Bruckberg: EFAFLEX Tor- und Sicherheitssysteme GmbH & Co., c2020 [cit. 2020-06-15]. Dostupné z: <https://cz.efaflex.com/rychlobezna-vrata/serie-ms/rychlobezna-spiralova-vrata-efa-sstr-ms.html>
- [38] Hexagonal Design C06 | Two- to Six-Finger Hollow Gripper. *GMG Gesellschaft für modulare Greifersysteme* [online]. Soest: design, c2020 [cit. 2020-06-15]. Dostupné z: <http://www.gmg-system.com/en/products/hexagonal/c06>
- [39] FDB-300. *SCHUNK* [online]. Lauffen/Neckar: SCHUNK GmbH & Co., c2020 [cit. 2020-06-15]. Dostupné z: https://schunk.com/cz_cs/uchopovaci-systemy/product/18863-0322202-fdb-300/

[40] FDB-340. *SCHUNK* [online]. Lauffen/Neckar: SCHUNK GmbH & Co., c2020 [cit. 2020-06-15]. Dostupné z: https://schunk.com/cz_cs/uchopovaci-systemy/product/18864-0322201-fdb-340/

[41] How to Safely Incorporate Cobots in Industrial Workplaces. *Digi-Key Electronics* [online]. Thief River Falls: Digi-Key Electronics, c1995-2020 [cit. 2020-06-15]. Dostupné z: <https://www.digikey.com/en/articles/how-to-safely-incorporate-cobots-in-industrial-workplaces>

[42] Nouzové zastavení stroje. Volba a použití tlačítek E-STOP. *Automatizace.HW.cz* [online]. Praha: HW server, c1997-2017, 29. Červen 2015 [cit. 2020-06-15]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/bezpecnost-stroju-komponenty/nouzove-zastaveni-stroje-volba-a-pouziti-e-stop-tlacitek.html>

[43] Bezpečnostní průmyslové komponenty: Bezpečnostní světelné clony, mříže a závory. *CONTRA* [online]. Měnin: snasel.com, c2010 [cit. 2020-06-15]. Dostupné z: <https://www.contra-brno.cz/produkt/bezpecnostni-svetelne-clony>

[44] Novinka - Světelné bezpečnostní závěsy Omron F3SG-R. *Automatizace.HW.cz* [online]. Praha: HW server, c1997-2014, 28. Leden 2016 [cit. 2020-06-15]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/bezpecnost-stroju-tiskove-zpravy/novinka-svetelne-bezpecnostni-zavesy-omron-f3sg-r.html>

[45] Pneumatické pohony. *Festo* [online]. Praha: Festo, c2020 [cit. 2020-06-15]. Dostupné z: https://www.festo.com/cat/cs_cz/products_010000

15 SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK

15.1 Seznam tabulek

Tab. 1) Výhody a nevýhody návrhových variant.....	37
Tab. 2) Specifikace koncového efektoru [38]	42
Tab. 3) Vhodné typy robotů [32] [34].....	43
Tab. 4) Hodnoty potřebné pro výpočet zatížení robotu	45
Tab. 5) Základní parametry vybraných pneumatických vřeten [39] [40]	47
Tab. 6) Dosah přes ochranné konstrukce – Velké riziko [6].....	50
Tab. 7) Identifikace relativního nebezpečí u vybraných komponent [1]	54
Tab. 8) Ukázka analýzy významných nebezpečí [1]	55
Tab. 9) Určení hodnoty velikosti nebezpečí [1].....	56
Tab. 10) Ukázka přehledu identifikovaných nebezpečí [1]	57
Tab. 11) Postup snižování nebezpečí [1]	58
Tab. 12) Velikosti hodnot rizik po zavedení opatření.....	59
Tab. 13) Časy jednotlivých operací s a bez RCS modulu.....	71
Tab. 14) Rozpis jednotlivých nákladů za nakupované komponenty.....	73
Tab. 15) Náklady za materiál na stavbu částí robotizovaného pracoviště	73
Tab. 16) Odhad ceny za práci při realizaci pracoviště	74
Tab. 17) Celkové náklady a návratnost investice.....	74

15.2 Seznam obrázků

Obr. 1) Model statoru elektromotoru	17
Obr. 2) Znázornění hran pro opracování.....	18
Obr. 3) Průmyslová revoluce [10].....	19
Obr. 4) Roční přírůstek robotů [12]	20
Obr. 5) Roční přírůstek robotů v jednotlivých průmyslových odvětví [12]	21
Obr. 6) Hustota robotů v jednotlivých státech [12].....	21
Obr. 7) Portálový robot [16].....	23
Obr. 8) Fanuc - Scara Robot SR-3iA [17].....	24
Obr. 9) Scara robot [18]	24
Obr. 10) ABB - IRB 14000 YuMi [21].....	25
Obr. 11) Yaskawa - MOTOMAN CSDA10F [20].....	25
Obr. 12) Kuka - KR 1000 titan [22]	25
Obr. 13) ABB - IRB 360 [24]	26
Obr. 14) Yaskawa – MS80W II. Osazena svařovacími kleštěmi [27]	27
Obr. 15) Fanuc – ARC Mate 100 iC/7L Osazen svařovací hlavicí [26]	27
Obr. 16) Kuka - KR 700 PA [29]	28
Obr. 17) ABB - IRB 760 [30]	28
Obr. 18) Fanuc - CR-35iA [31].....	28
Obr. 19) Layout prvního návrhu varianty	34
Obr. 20) Layout druhého návrhu varianty.....	35

Obr. 21) Layout třetího návrhu varianty	36
Obr. 22) Zrychlení v kladném směru osy Z	39
Obr. 23) Zrychlení v kladném směru osy X	40
Obr. 24) Zrychlení v záporném směru osy Z	41
Obr. 25) Pohyb prstů koncového efektoru [38]	42
Obr. 26) Kuka - KR30 R2100 [34]	43
Obr. 27) Kuka - KR30 R2100 velikost pracovního prostoru [34]	43
Obr. 28) Znázornění umístění polohy těžiště a působících momentů na robot	45
Obr. 29) Statické a dynamické zatížení robotu (dle compose.kuka.com)	45
Obr. 30) Průřezový diagram odjehlovacím vřetenem Schunk [39]	46
Obr. 31) Schématické znázornění bezpečnostních zón [41]	47
Obr. 32) Tlačítka nouzového zastavení [42]	48
Obr. 33) Bezpečnostní optický závěs [43]	49
Obr. 34) Vizualizace oplocení robotizovaného pracoviště	51
Obr. 35) Bezpečnostní zámek Euchner MGB od firmy ALVÁRIS [36]	52
Obr. 36) Samonosná vrata EFAFLEX – EFA-SST-MS [37]	52
Obr. 37) Detail umístění optické závory na vratech EFAFLEX [37]	52
Obr. 38) Blokový diagram robotizovaného pracoviště	53
Obr. 39) Otočný stojan (rozložený)	61
Obr. 40) Frézovací stůl (rozložený)	62
Obr. 41) Kontrolní box (rozložený)	63
Obr. 42) Definování komponent Process Simulate	65
Obr. 43) Okno funkce Relocate	66
Obr. 44) Funkce Placement Manipulator	66
Obr. 45) Schéma kinematických vazeb koncového efektoru	67
Obr. 46) Barevné rozlišení jednotlivých částí koncového efektoru	67
Obr. 47) Funkce Project Continuous Mfgs	68
Obr. 48) Rozšířená nabídka funkce Project Continuous Mfgs	68
Obr. 49) Funkce Base and Tool Setup	68
Obr. 50) Path editor	69
Obr. 51) Sequence Editor	69
Obr. 52) Funkce Mirror	70
Obr. 53) Sequence editor s RCS modulem	71
Obr. 54) Sequence editor bez RCS modulu	71

15.3 Seznam použitých zkratk a symbolů

Zkratka	Název	Jednotka
f	Součinitel smykového tření	[-]
m	Hmotnost statoru elektromotoru	[kg]
g	Tíhové zrychlení	$\left[\frac{m}{s^2}\right]$
a_z	Zrychlení způsobené robotem	$\left[\frac{m}{s^2}\right]$
k	Koeficient bezpečnosti	
F_t	Třecí síla	[N]
F_1	Síla vyvinutá prstem 1 koncového efektoru	[N]
F_2	Síla vyvinutá prstem 2 koncového efektoru	[N]
F_3	Síla vyvinutá prstem 3 koncového efektoru	[N]
F_{2X}	X-ová složka síly F_2	[N]
F_{2Y}	Y-ová složka síly F_2	[N]
F_{3X}	X-ová složka síly F_3	[N]
F_{3Y}	Y-ová složka síly F_3	[N]
G	Tíhová síla	[N]
M_x	Moment okolo osy x	[Nm]
M_y	Moment okolo osy y	[Nm]
M_z	Moment okolo osy z	[Nm]
F_z	Síla ve směru osy z	[N]
I_x	Moment setrvačnosti v ose x	$[kg \cdot m^2]$
I_y	Moment setrvačnosti v ose y	$[kg \cdot m^2]$
I_z	Moment setrvačnosti v ose z	$[kg \cdot m^2]$
S1	Lehké poranění (dočasné následky)	[-]
S2	Těžké zranění (trvalé následky)	[-]
S3	Smrt	[-]
A1	Zřídka až častěji	[-]
A2	Často až trvale	[-]
E1	Běžné	[-]
E2	Možné za určitých okolností	[-]
E3	Sotva možné	[-]
W1	Malá	[-]
W2	Střední	[-]
W3	Velká	[-]

16 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 – Identifikace relativního nebezpečí

Příloha 2 – Analýza významných nebezpečí

Příloha 3 – Přehled identifikovaných závažných nebezpečí

Příloha 4 - Seznam snížení rizik

CD

Výkres 1 – 0-RP-00-00 – LAYOUT PRACOVIŠTĚ

Výkres 2 – 2-RP-02-00 – OTOČNÝ STOJAN

Výkres 3 – 2-RP-01-00 – FRÉZOVACÍ STŮL